UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
CURSO DE ZOOTECNIA

BÁRBARA MARIA DE CARVALHO SILVA

IMPORTÂNCIA DO CONTROLE DE QUALIDADE DO FARELO DE SOJA: REVISÃO DE LITERATURA

CAMPO GRANDE – MS
2025

BÁRBARA MARIA DE CARVALHO SILVA

IMPORTÂNCIA DO CONTROLE DE QUALIDADE DO FARELO DE SOJA: REVISÃO DE LITERATURA

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como parte das exigências para a obtenção do título de bacharel em Zootecnia.
Orientador: Prof. Dr. Charles Kiefer

CAMPO GRANDE – MS
2025

BÁRBARA MARIA DE CARVALHO SILVA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 21 de agosto de 2025, e aprovado pela Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
gov.br
CHARLES KIEFER
Data: 28/08/2025 17:10:17-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Prof. Dr. Charles Kiefer

Presidente

Documento assinado digitalmente
gov.br
VIVIANE MARIA OLIVEIRA DOS SANTOS
Data: 03/09/2025 15:58:33-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Prof. Dra. Viviane Maria Oliveira dos Santos

Membro da Banca

Documento assinado digitalmente
gov.br
ANA GABRIELI DOS SANTOS FAGUNDES EUZEBI
Data: 30/08/2025 12:05:49-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Ana Gabrieli dos Santos Fagundes Euzébio

Membro da Banca

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho as minhas avós.

À minha querida avó Sônia Terezinha Girardi, que sempre acreditou em mim e me incentivou ao longo da vida. Tive a alegria de compartilhar com ela o momento em que ingressei na faculdade, mas, infelizmente, ela não pôde estar aqui para ver a conclusão desta etapa. Ainda assim, sei que, de onde estiver, continua me acompanhando com o mesmo brilho nos olhos e o orgulho que sempre demonstrou por mim. Suas palavras, seu apoio e sua presença amorosa permanecem vivos em minha memória.

À minha avó Mamede Cisto Solera da Silva, mulher de espírito forte e a frente de seu tempo. Em uma época em que as oportunidades para as mulheres eram mais limitadas, ela superou expectativas e revelou sua capacidade e foi, para mim, uma inspiração constante de dedicação e de superação.

Que este trabalho reflita, ainda que em parte, o legado que ambas me deixaram e os valores que carrego com orgulho como neta dessas duas mulheres extraordinárias.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me conceder a capacidade e o privilégio de realizar este curso.

Aos meus pais, João Vicente da Silva e Ana Lucia de Carvalho, sou imensamente grata pelo apoio constante, pelo incentivo incondicional e por garantirem tudo o que foi necessário para que eu chegasse até aqui.

À minha família, agradeço com carinho, em especial à minha tia Maria Lucia de Carvalho, por ser minha parceira de vida, sempre presente e acolhedora nos momentos mais difíceis.

Ao meu amado Vinícius Gerra, agradeço por ser meu maior incentivo, sempre ao meu lado, oferecendo apoio e acreditando no meu potencial. Seu amparo nos momentos mais desafiadores foi essencial para que eu chegasse até aqui.

Ao professor Charles Kiefer, meu orientador, deixo meu sincero agradecimento pelas orientações, conselhos, desabafos e apoio ao longo da minha trajetória.

Aos professores que contribuíram para minha formação, em especial à professora Viviane Maria Oliveira dos Santos, pela sensibilidade e suporte nos momentos desafiadores, minha gratidão.

Às colegas Stefany Cavalcante e Júlia Bogado, agradeço pela companhia, amizade e auxilio que tornaram a jornada mais leve.

Agradeço a UFMS, especialmente ao Programa Educação Tutorial - PET Zootecnia pelas oportunidades concedidas e ao Ministério da Educação pelo apoio financeiro por meio da concessão da bolsa.

RESUMO

A soja (*Glycine max*) é uma das principais culturas agrícolas do mundo, com grande importância econômica e nutricional, sendo amplamente utilizada na produção de óleo e na alimentação humana e animal. Entre seus subprodutos, o farelo de soja destaca-se como fonte relevante de proteína de alta digestibilidade e aminoácidos essenciais para a nutrição animal. No entanto, a presença de fatores antinutricionais pode comprometer sua eficiência nutricional, tornando necessário o uso de técnicas de processamento térmico, como tostagem, extrusão e micronização, para sua inativação. Esta revisão bibliográfica tem como objetivo apresentar os principais fatores antinutricionais do farelo de soja, os métodos de processamento utilizados para sua redução e os testes de controle de qualidade aplicados, como a atividade ureática e a solubilidade proteica em hidróxido de potássio (KOH) a 0,2%, com foco na garantia da qualidade nutricional e do desempenho dos animais de produção.

Palavras-chave: alimentos, fatores antinutricionais, processamento.

ABSTRACT

Soybean (Glycine max) is one of the world's main agricultural crops, with great economic and nutritional importance, widely used in oil production and in human and animal nutrition. Among its byproducts, soybean meal stands out as a relevant source of highly digestible protein and essential amino acids for animal nutrition. However, the presence of antinutritional factors can compromise its nutritional efficiency, necessitating the use of thermal processing techniques such as toasting, extrusion, and micronization to inactivate them. This literature review aims to present the main antinutritional factors in soybean meal, the processing methods used to reduce them, and the quality control tests applied, such as urea activity and protein solubility in 0.2% potassium hydroxide (KOH), with a focus on ensuring nutritional quality and performance of production animals.

Keywords: antinutritional factors, food, processing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma processo de extrusão.....19
Figura 2 – Fluxograma processo de micronização.....20
Figura 3 – Fluxograma processo de tostagem.....22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação fatores antinutricionais.....17

Tabela 2 - Comparação entre métodos de processamento da soja 23

Tabela 3 - Padrão de atividade ureática de farelo de soja.....23

Tabela 4 - Comparação dos principais componentes em porcentagem dos diferentes processamentos do grão de soja.....26

Tabela 5 - Comparação da composição de aminoácidos em porcentagem dos diferentes tipos de processamento do grão de soja.....26

Tabela 6 - Comparação da composição mineral em porcentagem dos diferentes processamentos do grão de soja.....27

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11
2 PRINCIPAIS FATORES ANTINUTRICIONAIS DA SOJA 12
2.1 Fatores antinutricionais 13
2.2 Inibidores de proteases 14
2.3 Lectina 15
2.4 Saponina 15
2.5 Fatores alergênicos 16
3 PROCESSAMENTOS 17
3.1 Extrusão 18
3.2 Micronização 19
3.3 Tostagem 20
4 CONTROLE DE QUALIDADE DO FARELO DE SOJA 23
4.1 Análise de atividade ureática 23
4.2 Solubilidade da proteína em KOH 24
5 VALORES NUTRICIONAIS 25
6 CONCLUSÃO ..... **Erro! Indicador não definido.**
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 29

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L.), pertencente à família das leguminosas, apresenta ampla diversidade genética, com mais de 7.000 variedades identificadas (Góes, 2013). A soja foi domesticada há mais de 5.000 anos na China, registrada pelo imperador Shen-nung. No século XVIII, passou a ser estudada na Europa para óleo e alimentação animal. Em 1765, chegou às colônias norte-americanas, e em 1940 os EUA se tornaram o maior produtor mundial, enquanto a participação da China caiu (Wáng Shàoguāng, 2022).

Até a década de 1960, a soja era pouco conhecida no Brasil e cultivada como alternativa ao trigo. O crescimento da avicultura e suinocultura elevou a demanda por farelo de soja e consolidou-se como ingrediente estratégico na alimentação animal. A partir de 1980, o valor nutricional da soja e sua importância no mercado internacional impulsionaram seu cultivo. Assim, a soja tornou-se uma das principais commodities da agricultura brasileira. (Embrapa, 2025). Hoje o Brasil se destaca por ser responsável por aproximadamente 40% da produção mundial de soja, seguido pelos Estados Unidos, com cerca de 28%, e pela Argentina, que responde por 12% da produção global (USDA, 2025).

O Brasil se destaca como um dos maiores produtores e exportadores de soja do mundo, sendo responsável por destinar ao mercado externo cerca de 70% de sua produção de grãos, farelos e óleos (Garcia, 2020). No processo de industrialização do grão, aproximadamente 80% são convertidos em farelo e óleo, sendo o farelo majoritariamente utilizado na alimentação animal (Souza, 2010). Praticamente 97% do farelo de soja produzido no mundo está destinado a alimentação animal e apenas 3% a alimentação humana, sendo o farelo a principal fonte proteica especialmente para a criação suína e avícola (Deng, 2024).

A China se destaca por ser responsável por aproximadamente 29% da produção mundial de farelo de soja, seguido pelos Estados Unidos, com cerca de 19%, e pelo Brasil, que responde por 16% da produção global. Em 2023, a produção de farelo soja no Brasil atingiu aproximadamente 41,57 milhões de toneladas, enquanto em 2024 essa produção chegou a cerca de 43,99 milhões de toneladas. Para 2026, estima-se um crescimento de aproximadamente 7% na produção mundial, com uma expectativa de aumento de 6% para o Brasil, indicando uma tendência de expansão contínua no setor (USDA, 2025). No Brasil, em 2024, aproximadamente

55,5% do total produzido de farelo de soja foi destinado à exportação, enquanto 44,5% foi direcionado ao consumo interno (EMBRAPA, 2025). Ao relacionar com a capacidade de produção de soja no país, destaca-se a relevância do Brasil em investir no estudo e aprimoramento do uso e da produção do farelo de soja, dada a sua significativa capacidade produtiva.

Nesse contexto, a soja é amplamente reconhecida como a “proteína padrão ouro” entre as fontes proteicas utilizadas em rações, principalmente em função de seu excelente perfil de aminoácidos (Dozier, 2011). Os subprodutos da soja, como o farelo de soja, são empregados na formulação de dietas, pelo seu valor nutricional elevado, destacando-se por apresentar uma composição próxima de 100% de nutrientes digestíveis totais (Góes, 2013). Esse subproduto ganhou notoriedade por atender de forma eficiente às exigências nutricionais das espécies produtivas, devido à sua concentração de aminoácidos essenciais de alta digestibilidade (Lima, 2014).

O farelo de soja possui alta qualidade nutricional, devido ao processamento térmico que inativa fatores antinutricionais e eleva o teor de proteína. Por seu bom custo-benefício, é amplamente utilizado na alimentação de aves, suínos e bovinos. O processamento correto é essencial para não comprometer a saúde e o desempenho dos animais, tornando o controle de qualidade fundamental (Monteiro, 2023). Por ser a principal fonte proteica na alimentação animal, demanda um rigoroso controle de qualidade. Para isso, destacam-se dois testes fundamentais: o de atividade ureática e o de solubilidade da proteína em KOH. Esses testes são utilizados em conjunto para verificar se o processamento térmico aplicado foi eficaz na inativação dos fatores antinutricionais, garantindo ao mesmo tempo que o valor nutricional do farelo não seja comprometido (Dozier, 2011).

Neste contexto, realizou-se esta revisão de literatura sobre os principais fatores antinutricionais presentes no grão e farelo de soja, destacando as técnicas de processamento utilizadas para sua inativação e os métodos de controle de qualidade aplicados, visando garantir a segurança e a eficiência nutricional na alimentação de animais de produção.

2 PRINCIPAIS FATORES ANTINUTRICIONAIS DA SOJA

As leguminosas apresentam fatores antinutricionais que atuam na defesa e proteção natural da planta. Estes compostos acabam limitando sua utilização na

nutrição animal devido às consequências que estes fatores podem trazer a saúde animal como a deficiência de proteínas, inibição de crescimento e alterações fisiológicas ao pâncreas (Lima, 2014).

2.1 Fatores antinutricionais

Um fator antinutricional é definido como um composto, ou grupo de compostos, presente em vegetais que, quando consumidos in natura, pode interferir negativamente na digestibilidade e na absorção de nutrientes pelo organismo (Benevides, 2011). As substâncias antinutritivas são, em sua maioria, metabólitos secundários, ou seja, compostos que não participam diretamente dos processos essenciais da planta, mas que desempenham um papel fundamental na sua interação com o ambiente. Esses compostos atuam principalmente na defesa da planta, sendo responsáveis por sua proteção contra predadores naturais, como fungos, bactérias e protozoários, contribuindo para sua sobrevivência (Souza, 2019).

As plantas desenvolveram, ao longo da evolução, a produção de compostos de defesa. Esses mecanismos podem ser classificados em dois tipos: estruturais e bioquímicos. As defesas estruturais consistem em barreiras físicas que dificultam a entrada de patógenos, enquanto as defesas bioquímicas envolvem a produção de substâncias capazes de inibir o crescimento ou desenvolvimento desses organismos. Essas substâncias, por sua vez, podem ser convertidas em compostos tóxicos para os predadores, funcionando como um importante recurso adaptativo das plantas frente às ameaças do ambiente (Souza, 2019).

Os fatores antinutricionais presentes em alimentos como a soja e seus subprodutos podem comprometer a biodisponibilidade de nutrientes, especialmente aminoácidos essenciais e minerais, além de causar impactos negativos no estado fisiológico dos animais, como distúrbios metabólicos, lesões e irritações no epitélio gastrointestinal, o que prejudica o crescimento e o desempenho produtivo (Benevides, 2011). Considerando que a soja é amplamente utilizada na nutrição animal devido à sua alta qualidade nutricional, é fundamental compreender os efeitos desses compostos e adotar estratégias de inativação adequadas, garantindo assim o uso eficiente e seguro desses ingredientes na alimentação.

2.2 Inibidores de proteases

Na soja e outras leguminosas são encontrados inibidores de proteases como a tripsina que são responsáveis pela digestão de proteínas pelo intestino. O inibidor age se ligando ao sítio ativo da tripsina, que ao formar um complexo estável acaba bloqueando sua função. Consequentemente, ao bloquear a função de uma protease como a tripsina, leva a redução da digestão de proteínas e a deficiência nutricional, que por via ocorre o aumento da produção de enzimas pancreáticas de efeito compensatório (Liener, 1988).

Em uma via normal, sem os inibidores de protease, quando a proteína chegasse no intestino delgado haveria simultaneamente a secreção de colecistoquinina (CCK) e secretina pelas células do epitélio, estimulando o pâncreas a secretar tripsina, quimotripsina e CCK que agiriam quebrando as ligações peptídicas das proteínas liberando aminoácidos para serem absorbidos (Lima, 2014).

Estudos feitos em animais monogástricos alimentados com o grão de soja crua apresentaram alterações metabólicas no pâncreas. Quando os níveis de tripsina e ou quimotripsina diminuem no intestino, as enzimas pancreáticas são produzidas excessivamente resultando no aumento da concentração plasmática de CCK causando a hipertrofia do fígado por ele produzir mais enzimas que o normal de forma a compensar a falta de enzimas digestivas, ocasionando distúrbio digestivo, insuficiência nutricional e alterações no pâncreas como hiperplasia ou hipoplasia (Pires, 2015).

O consumo de inibidores de proteases pode levar ao aumento na produção de radicais livres de oxigênio no organismo. Esse excesso de radicais livres provoca estresse oxidativo, um processo que interfere diretamente na síntese e no funcionamento celular. Como consequência, essa condição pode estar associada ao desenvolvimento de doenças mais graves, como câncer, diabetes, isquemias, doenças cardiovasculares e distúrbios neurológicos (Gu, 2023).

Devido à importância nutricional da soja e aos riscos associados à presença de inibidores de proteinases, um estudo realizado com a atividade residual dos inibidores de tripsina em grãos de soja submetidos a tratamento térmico, simulando o processo de digestão enzimática. Os resultados demonstraram que, embora o aquecimento reduza significativamente essa atividade, uma parte dos inibidores pode se reativar

durante a digestão. Esses achados ressaltam a necessidade de um controle rigoroso das condições térmicas no processamento da soja, uma vez que tratamentos inadequados podem comprometer a digestibilidade proteica e resultar em prejuízos à saúde animal (Carvalho et al. 2002).

2.3 Lectinas

As lectinas, também chamadas de hemaglutininas, exercem suas funções devido à capacidade de se ligarem a açúcares específicos presentes na superfície das células. Estão presentes principalmente nos grãos de leguminosas, mas também podem ser encontradas em diversas espécies de animais e plantas. Por estarem amplamente distribuídas na natureza, acredita-se que desempenhem importante papel fisiológico, especialmente relacionado à maturação e à germinação das sementes (Silva, 2000). Elas se concentram principalmente nos órgãos de reserva, podendo representar até 2% do peso seco das sementes, embora estejam distribuídas por toda a planta, localizadas em vacúolos específicos chamados vacúolos de reserva proteica (Ribeiro, 2008).

Do ponto de vista nutricional, as lectinas são classificadas como fatores antinutricionais, uma vez que se ligam a receptores glicolisados presentes nas células epiteliais da mucosa intestinal, sobretudo nas vilosidades. Essa interação pode provocar alterações morfofuncionais no epitélio, como ulcerações e descamação, levando a perdas expressivas de nitrogênio endógeno, além de comprometer a absorção de nutrientes. Tais efeitos são especialmente deletérios em fases críticas do desenvolvimento animal, como o crescimento e a lactação (Salla, 2005).

2.4 Saponinas

O termo “saponina” tem origem no latim sapo, que significa “sabão” (Souza, 2019). Esses compostos apresentam características detergentes e surfactantes (Pereira, 2012), a saponina é uma substância resultante do metabolismo secundário das plantas, estando relacionada principalmente à defesa contra organismos que possam afetá-las, como fungos, bactérias e protozoários. Por esse motivo, encontra-se, em maior concentração, nas principais áreas vulneráveis a ataques (Souza, 2019).

A saponina é um glicosídeo composto por uma aglicona lipossolúvel, também denominada esteroide, que possui a capacidade de se ligar a um açúcar solúvel, constituindo uma das classes de fito químicos mais abundantes na soja (Botelho, 2023). As saponinas apresentam uma estrutura de caráter anfifílico, ou seja, possuem a capacidade de se ligar tanto a estruturas hidrofílicas (açúcares) quanto lipofílicas (esteroides) (Souza, 2019). Além disso, as saponinas caracterizam-se pelo sabor amargo e pela capacidade de formar espuma em soluções aquosas, podendo provocar hemólise e formar complexos com esteroides de baixa digestibilidade. Também estão associadas ao retardamento do trânsito intestinal, modificando a permeabilidade da mucosa (Martins, 2011).

A soja contém, em média, cerca de 0,48% de saponinas em sua composição. Esses compostos exercem efeitos negativos sobre a digestibilidade dos alimentos, atuando principalmente por meio da modificação da permeabilidade da mucosa intestinal, o que resulta na inibição do transporte de nutrientes. Além disso, as saponinas possuem a capacidade de romper hemácias, processo conhecido como hemólise, o que pode comprometer a integridade celular e a saúde do organismo consumidor (Lima, 2014). Por esse motivo, as saponinas são reconhecidas por reduzir a digestibilidade das proteínas, o que compromete a absorção de nutrientes e, consequentemente, pode levar à redução do desempenho zootécnico, incluindo o atraso no crescimento dos animais (Martins, 2011).

2.5 Fatores alergênicos

O uso do farelo de soja nas fases iniciais da vida animal tem sido objeto de estudos, os quais indicam que, mesmo após processamento, o farelo pode conter fatores alergênicos capazes de comprometer a integridade da mucosa intestinal devido a reações de hipersensibilidade. Entre os principais agentes responsáveis por essas respostas destacam-se as frações proteicas glicinina e β-conglicinina (Soares, 2000).

Quando fornecida a animais muito jovens, uma pequena fração de macromoléculas proteicas não digeridas pode atravessar o epitélio intestinal, alcançando a corrente sanguínea e os linfonodos, o que pode desencadear reações antígeno-anticorpo e sensibilização das células linfáticas. Contudo, diversos estudos têm investigado formas de inativação desses compostos alergênicos, destacando-se,

principalmente, o processamento térmico dos alimentos e a manipulação genética das plantas como estratégias promissoras (He, 2015).

Na Tabela 1 estão apresentados, de forma resumida, as comparações dos principais fatores antinutricionais do grão de soja.

Tabela 1 – Comparação fatores antinutricionais (resumo).

Fator Antinutricional	Modo de ação	Função na planta	Consequências aos animais
Inibidores de proteases	Se ligam ao sitio ativo da enzima digestive, bloquando sua ação	Defesa contra predadores	Disturbios metabolicos, hipertrofia pancreática/hepática, estresse oxidativo
Lectinas	Ligam-se a receptores glicolisados da superficie da celula epitelial	Maturação e germinação; defesa	Lesões no epitélio, má absorção de nutrientes, queda de desempenho
Saponinas	Alteram permeabilidade intestinal e podem causar hemólise	Defesa contra microrganismos; ação antimicrobiana	Redução da digestibilidade, menor absorção, atraso no crescimento
Fatores alergênicos	Proteínas que induzem resposta imune	Proteínas de reserva da semente	Reações alérgicas, inflamacao dos linfonodos, distúrbios gastrointestinais, risco em animais jovens

3 PROCESSAMENTOS

Diversos estudos demonstram a importância de realizar de forma adequada o processamento do grão integral da soja, com o objetivo de preservar seu padrão nutricional, assegurar a inativação dos fatores antinutricionais e, ao mesmo tempo, evitar perdas no seu valor proteico (Kohli, 2024). Um dos principais desafios está no desenvolvimento e na avaliação de métodos de processamento que assegurem a preservação da qualidade nutricional dos aminoácidos, bem como a manutenção de compostos bioativos que contribuem para a promoção da saúde (Deng, 2024).

3.1 Extrusão

O processo de extrusão se caracteriza basicamente pela interação entre alguns fatores como a pressão necessariamente alta, a umidade, a temperatura e a quebra mecânica (Freitas, 2006). A extrusão se diferencia de outros métodos pela capacidade de realizar e controlar diversas etapas do processamento em poucos equipamentos, como destaca Oliveira (2018), esse processo é caracterizado por integrar várias operações unitárias em sequência, como mistura, cozimento, moldagem, gelatinização, secagem e até esterilização, otimizando tempo, espaço e eficiência industrial.

Esse processo, ao combinar alta pressão e elevadas temperaturas, é capaz não apenas de inativar fatores antinutricionais, mas também de desnaturar proteínas antigênicas e inativar enzimas como as lipoxigenases, responsáveis pela rancificação oxidativa. Como resultado, o produto final apresenta maior estabilidade, podendo ser armazenado por períodos mais longos. Além disso, ocorre a gelatinização do amido, o que contribui para a melhora da digestibilidade tanto das proteínas quanto dos carboidratos (Silva, 2013). Estudos também indicam que esse tipo de processamento favorece a absorção do óleo de soja pelas aves por meio da quebra dessas células, liberando a gordura intracelular e consequentemente melhorando a absorção de gorduras pelo organismo (Café et al., 2000).

Em estudo conduzido por Bertipaglia (2008), avaliou os efeitos da extrusão em diferentes proporções de soja e milho, sob várias temperaturas, analisando componentes nutricionais como frações nitrogenadas, carboidratos, lipídios e digestibilidade proteica. Os resultados mostraram que a extrusão altera a composição nutricional do produto, reduzindo inibidores de tripsina e modificando as frações lipídicas, fibrosas e nitrogenadas. Essas mudanças dependem principalmente da temperatura e da proporção entre os grãos. Apesar das alterações nas proteínas, a digestibilidade in vitro permaneceu estável. No entanto, baixa umidade e tempo de residência reduzido podem comprometer o processo, reforçando a importância de entender os efeitos da extrusão na composição do alimento.

Mantovani et al. (2011) realizaram um estudo para analisar a qualidade da soja extrusada produzida por uma agroindústria, focando principalmente em fatores antinutricionais, especialmente a atividade da urease, além de parâmetros nutricionais como umidade, proteína bruta e proteína solúvel (Psol), importantes para formulação

de rações para aves e suínos. Os resultados mostraram que cerca de 90% das amostras apresentaram níveis adequados de proteína solúvel e atividade ureática, indicando que o processamento não comprometeu esses parâmetros, mantendo o valor nutricional da soja. As demais características avaliadas apresentaram pouca variação. O estudo destaca ainda que a moagem prévia dos grãos antes do processo de extrusão (Figura 1) pode melhorar a uniformidade dos parâmetros analisados e aumentar a eficiência do processamento, reforçando a importância do controle de qualidade na produção do farelo de soja para monogástricos.

Figura 1 – Fluxograma processo de extrusão. Fonte: Adaptado de Bertiaglia (2008) e Donadelli (2021).

3.2 Micronização

No processo de micronização, os grãos são transportados sobre uma esteira e expostos à radiação infravermelha, que agita as moléculas de água e eleva sua temperatura interna, podendo alcançar até 220°C. Após esse aquecimento, os grãos são submetidos à trituração mecânica (Silva, 2013). No estudo de Lima (2014), o

processo é descrito de forma mais detalhada (Figura 2) e dividido em quatro etapas principais. Inicialmente, os grãos passam por uma esteira vibratória e são expostos ao vapor indireto, gerado por queimadores a gás. Na segunda etapa, ocorre a exposição à radiação infravermelha, responsável por aquecer os grãos, provocar a evaporação da água e gerar fissuras internas. Em seguida, realiza-se a laminação, momento em que ocorre a remoção da casca e de impurezas. Por fim, os grãos passam pela moagem, etapa que finaliza o processo de micronização.

Corroborando esses achados, Daga et al. (2015) avaliou amostras de farelo de soja antes e após a micronização, por meio de análises bromatológicas e de micotoxinas. Os resultados indicaram que os valores estavam de acordo com os padrões estabelecidos pelo Compêndio Brasileiro de Nutrição Animal, reforçando a importância do controle de qualidade em todas as etapas do processamento do farelo de soja destinado à alimentação animal.

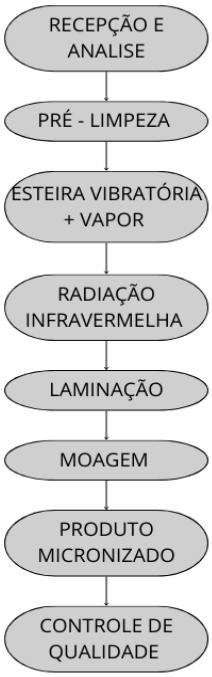

Figura 2 – Fluxograma processo de micronização. Fonte: Adaptado de Lima (2014).

3.3 Tostagem

A tostagem é o principal método para inativar substâncias antinutricionais da soja, podendo ser realizada com calor seco ou úmido. A tostagem com vapor (100 a 130°C) é mais eficiente e preserva melhor as proteínas em comparação ao calor seco (140 a 170°C), como nos métodos de tambor rotativo ou “jet sploder”. Além disso, o calor úmido sob pressão inativa antinutrientes de forma eficaz e protege os lipídios da rancificação, embora possa reduzir levemente a disponibilidade do óleo (Silva, 2013).

Entre os métodos, destaca-se o tambor rotativo, que aquece os grãos a cerca de 120–125°C, mas apresenta dificuldades na padronização devido às variações nos grãos e na fonte de calor. Já o método com vapor úmido, feito no equipamento chamado dessolventizador-tostador, aquece o farelo a cerca de 105°C, removendo o solvente usado na extração do óleo, ajustando a umidade e reduzindo fatores antinutricionais e sabores indesejáveis (Lima, 2014).

O processo conhecido como dessolventização/tostagem (DT) (Figura 3) é essencial para eliminar o hexano residual, um solvente usado na extração do óleo. Esse processo ocorre em duas etapas: a primeira remove a maior parte do hexano com vapor superaquecido; a segunda aplica vapor saturado para eliminar o restante e desativar enzimas que prejudicam a digestão dos nutrientes (Salinas, 2015).

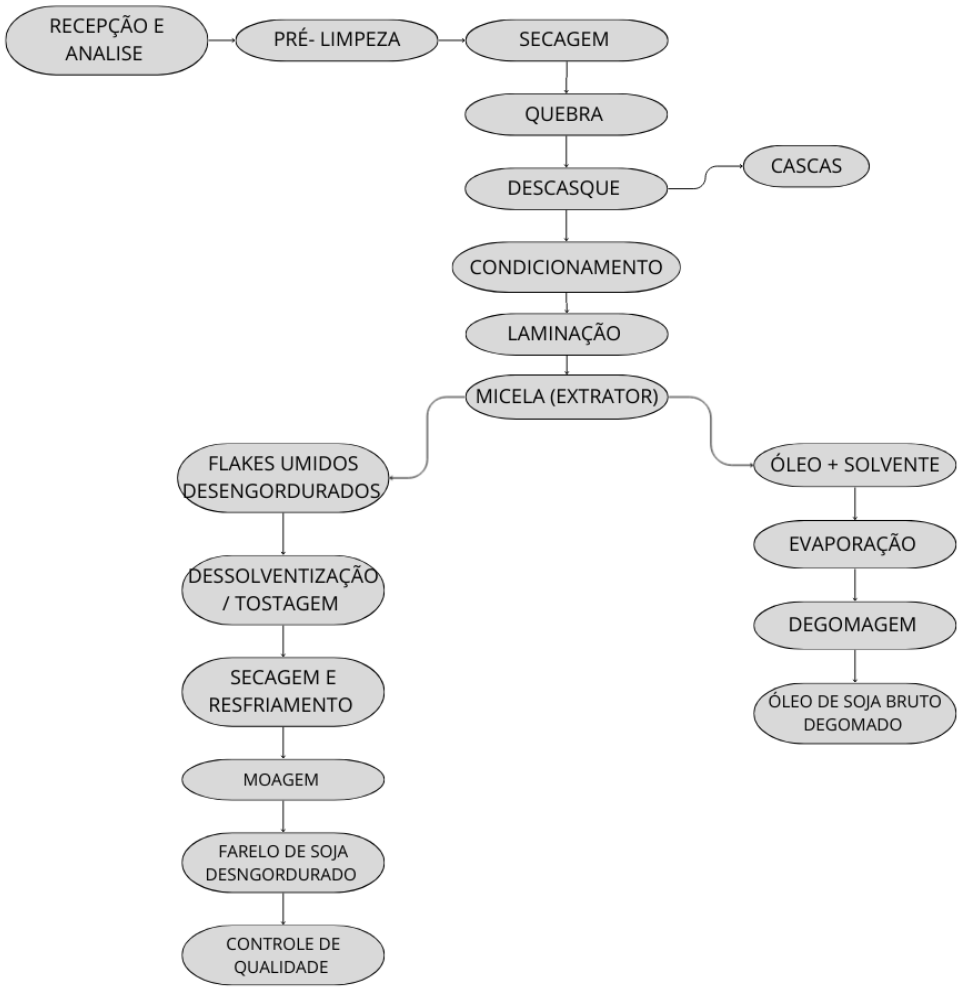

Figura 3 – Fluxograma produção de óleo de soja e farelo de soja. Fonte: Adaptado de Mandarino & Jroessing (2001).

Com o intuito de estabelecer uma distinção mais clara entre os diferentes processos, a Tabela 2 apresenta uma comparação quanto aos métodos empregados, às variações de temperatura e ao tempo de processamento.

Tabela 2 - Comparação entre métodos de processamento da soja

Processamento	Métodos	Temperatura	Tempo
Extrusão	Pressão / Temperatura	130 a 160°C	7 a 30 segundos
Micronização	Radiação infravermelha	150 a 180°C	2 a 3 minutos
Tostagem	Temperatura elevada com ou sem vapor	Úmido: 100 a 130°C Seco: 140 a 170°C	Vapor umido: 1 hora Vapor seco: 20 minutos

Fonte: Adaptado de Lima (2014).

4 CONTROLE DE QUALIDADE DO FARELO DE SOJA

O farelo de soja é uma ótima fonte de aminoácidos de fácil digestão e que oferecem um bom valor nutricional para os animais. Mas, para que ele seja seguro e realmente funcione bem na alimentação, é importante que o produto atenda aos padrões de qualidade, com os fatores antinutricionais devidamente neutralizados, sem perder sua digestibilidade e seus benefícios nutricionais (Monteiro, 2023).

4.1 Análise de atividade ureática

A urease é uma enzima termolábil naturalmente presente na soja, cuja inativação térmica ocorre de forma semelhante à dos principais fatores antinutricionais, como os inibidores de tripsina (Mateos, 2020). Por essa razão, sua atividade é amplamente utilizada como indicador indireto da eficácia do processamento térmico do farelo de soja (Tabela 3). Quando a urease é inativada, presume-se que os fatores antinutricionais também tenham sido significativamente reduzidos. Valores de atividade ureática com variação de pH entre 0,01 e 0,15 indicam que o farelo passou por um processamento térmico adequado (Lima, 2011).

Tabela 3 - Padrão de atividade ureática de farelo de soja

Classificação	Atividade ureática
Excelente	0,01- 0,05
Boa	0,6- 0,20
Regular	0,21- 0,31
Deficiente	> 0,30

Fonte: Lima (2011).

No entanto, estudos demonstram que mesmo com valores próximos de zero na atividade ureática, ainda é possível encontrar entre 4 e 8% de inibidores de tripsina residuais, o que evidencia limitações desse método (Mateos, 2020). Assim, embora amplamente utilizado, o teste de urease não deve ser considerado absoluto ou único parâmetro de avaliação, uma vez que não é capaz de identificar casos de superaquecimento do farelo, os quais podem comprometer a qualidade proteica (Ruiz, 2020).

Anteriormente, valores superiores a 0,15 unidades de pH no teste de atividade ureática eram indicativos de subprocessamento, enquanto valores inferiores a 0,05 apontavam para superaquecimento do farelo de soja. No entanto, com o avanço das pesquisas e a modernização dos processos industriais, observou-se que farelos com índices próximos a 0,05 não comprometem a qualidade nutricional, especialmente em determinadas condições. Além disso, o limite máximo anteriormente considerado também deixou de ser interpretado como absoluto, uma vez que diferentes espécies, como galinhas poedeiras e perus, podem apresentar respostas variáveis a esses níveis, sendo em alguns casos indiferentes, e em outros, extremamente sensíveis" (CAES, 2025).

4.2 Solubilidade da proteína em KOH

Ao longo dos anos, diversos pesquisadores buscaram desenvolver um método eficaz para medir a solubilidade proteica do farelo de soja. Inicialmente, foram realizadas tentativas utilizando água como solvente, porém os resultados obtidos não apresentaram precisão satisfatória. Com o tempo, diferentes substâncias foram testadas até que, por volta da década de 1990, identificou-se que a solução de hidróxido de potássio a 0,2% proporciona maior reprodutibilidade e sensibilidade, consolidando-se como padrão para essa análise (Dozier, 2011).

Ao abordar a solubilidade de proteínas, é fundamental compreender o conceito de proteína solúvel, que corresponde à fração da proteína disponível para absorção e utilização pelo organismo animal. Essa fração é essencial para a síntese de aminoácidos e outros compostos nitrogenados no metabolismo. No caso da soja, o grão pode apresentar até 100% de proteína bruta (PB) solúvel em solução de hidróxido de potássio (KOH) 0,2%, o que demonstra seu elevado potencial de aproveitamento nutricional (Lima, 2014). O hidróxido de potássio (KOH) é uma substância amplamente utilizada para estimar a solubilidade da proteína no trato digestório dos animais. Esse método é considerado um dos mais eficazes para avaliar se houve sub ou super aquecimento durante o processamento do farelo de soja. Através desse teste, é possível estimar a fração de proteína que poderá ser efetivamente absorvida e aproveitada pelo animal (Jardim, 2019).

Em termos de níveis e valores, considera-se adequada a solubilidade proteica na faixa de 73 a 85%, pois valores abaixo desse intervalo podem indicar excesso de calor durante o processamento (superaquecimento), enquanto valores acima podem sinalizar aquecimento insuficiente (subaquecimento) (Almeida et al., 2020). Alguns fatores estão diretamente relacionados aos resultados obtidos nos testes de qualidade, como a exposição excessiva e prolongada ao calor durante os processos de extração do óleo ou inativação de fatores antinutricionais que levam a perda de digestibilidade das proteínas. Esse excesso de calor pode comprometer tanto a qualidade quanto a quantidade da proteína solúvel presente no farelo, afetando negativamente seu valor nutricional (Paduch, 2022). Além disso, Mateos (2020) destaca a importância de considerar que variáveis ligadas ao manuseio das amostras, como tempo e intensidade da moagem, agitação, temperatura, pH da solução e duração do procedimento, podem influenciar de forma significativa os resultados analíticos obtidos.

5 VALORES NUTRICIONAIS

Considerando-se a existência de vários padrões de tratamentos térmicos da soja e os diferentes subprodutos gerados a partir desses processamentos buscou-se realizar um levantamento dos principais componentes nutricionais e as concentrações nutricionais. Abaixo estão descritos os principais subprodutos gerados a partir do processamento do grão de soja (Tabela 4) e os valores nutricionais (Tabelas 5 e 6).

Tabela 4 - Comparação dos principais componentes em porcentagem dos diferentes processamentos do grão de soja.

Principais Componentes (%)	Integ. Tost.	Integ. Extr.	Integ. Micro.	Semi Integ. Extr.	Semi Integ. Tost.	F. S. 46% PB	F. S. 48% PB
Matéria Seca	92,5	92,5	94	91,4	91,4	91,1	88,8
Matéria Orgânica	87,8	87,8	89	85,9	85,9	84,9	82,8
Proteína Bruta	37,3	37,3	39,7	40,2	40,2	46,5	48,1
Amido	6,70	6,70	6,70	7,37	7,37	6,38	3,00
Fibra Bruta	5,19	5,19	2,51	6,63	6,63	4,29	4,58
Extrato Etéreo	18,8	18,8	20,8	10,5	10,5	2,85	1,83
Energia Bruta	5098	5074	5302	4456	4456	4185	4161

Fonte: Adaptado de Rostagno et al. (2023).

Tabela 5 - Comparação da composição de aminoácidos em porcentagem dos diferentes tipos de processamento do grão de soja.

Composição aminoácidos	Integ. Tost.	Integ. Extr.	Integ. Micro.	Semi Integ. Extr.	Semi Integ. Tost.	F. S. 46% PB	F. S. 48% PB
Lisina, %	2,32	2,32	2,43	2,48	2,48	2,87	2,91
Metionina, %	0,50	0,50	0,54	0,55	0,55	0,62	0,63
Met + Cis, %	1,08	1,08	1,08	1,14	1,14	1,31	1,36
Treonina, %	1,44	1,44	1,57	1,61	1,61	1,82	1,87
Triptofano, %	0,51	0,51	0,53	0,56	0,56	0,66	0,67
Arginina, %	2,67	2,67	3,02	2,93	2,93	3,43	3,49
Valina, %	1,77	1,77	1,96	1,94	1,94	2,27	2,29
Histidina, %	0,96	0,96	-	1,07	1,07	1,23	1,25

Fonte: Adaptado de Rostagno et al. (2023).

Tabela 6 - Comparação da composição mineral em porcentagem dos diferentes processamentos do grão de soja.

Minerais	Integ. Tost.	Integ. Extr.	Integ. Micro.	Semi Integ. Extr.	Semi Integ. Tost.	F. S. 46% PB	F. S. 48% PB
Macrominerais (%)							
Potássio (K)	4,75	1,72	1,65	1,80	1,80	1,83	2,11
Sódio (Na)	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Cloro (Cl)	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,05	0,05
Enxofre (S)	0,28	0,28	-	0,31	0,31	-	-
Magnésio (Mg)	0,32	0,32	0,20	0,32	0,32	-	0,23
Cálcio Total	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,35	0,35
Fósforo Total	0,53	0,53	0,57	0,55	0,55	0,59	0,59
P Fítico	0,36	0,36	0,37	0,36	0,36	0,38	0,36
P Disponível	0,17	0,17	0,20	0,19	0,19	0,21	0,23
Microminerais (mg/kg)							
Manganês (Mn)	24,8	24,8	19,2	24,8	24,8	31,9	31,7
Ferro (Fe)	179,1	179	56,2	179,1	179,1	150	168
Cobre (Cu)	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	16,3	-
Zinco (Zn)	41,6	41,6	36,2	41,6	41,6	46,2	44,8
Selênio (Se)	0,21	0,21	0,20	0,21	0,21	0,44	0,34
Iodo (I)	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Adaptado de Rostagno et al. (2023).

Constata-se na tabela Entre os métodos de processamento, a tostagem destaca-se como o mais utilizado, por garantir a inativação eficiente de fatores antinutricionais sem comprometer a digestibilidade do produto, mantendo o custo-benefício.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O farelo de soja destaca-se por seu elevado teor de proteína e pela alta digestibilidade de aminoácidos. Embora o teste de atividade ureática seja, teoricamente, eficaz para avaliar a inativação desses fatores, ele não deve ser empregado de forma isolada ou como parâmetro absoluto. Quando combinado a outros métodos, como o teste de solubilidade da proteína em KOH, possibilita uma análise mais precisa e confiável da qualidade do processamento térmico e do valor nutricional do farelo de soja, assegurando simultaneamente a redução dos fatores antinutricionais e a manutenção de suas qualidades nutricionais, garantindo sua segurança no uso para alimentação animal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, G. R. et al. Farelo de soja proveniente de grãos avariados na alimentação de suínos. 2022.

APROSOJA - Associação Brasileira dos Produtores de Soja. A soja. Disponível em: https://aprosojabrasil.com.br/a-soja/ , 2025.

Bertipaglia, L. M. A. et al. Alterações bromatológicas em soja e milho processados por extrusão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 2003-2010, 2008.

Benevides, C. M. de J. et al. Fatores antinutricionais em alimentos: revisão. **Segurança Alimentar e nutricional**, v. 18, n. 2, p. 67-79, 2011.

Botelho, C. S. W. M. Soja. Soares, A. P. da C. (org.). Alimentos com propriedades funcionais e de saúde: evidências e pretensos efeitos. Vitória: Edifes, 2023.

Brazil | USDA Foreign Agricultural Service. Usda.gov. Disponível em: https://www.fas.usda.gov/data/production/country/br . Acesso em: 11 ago. 2025.

CAES - College of Agricultural and Environmental Sciences. Quality Control - Extension. Poultry Science. Uga.edu. Disponível em: https://poultry.caes.uga.edu/extension/poultry-nutrition/soybeans/quality-control.htm. 2025. Acesso em: 11 ago. 2025.

Café, M. B. et al. Determinação do valor nutricional das sojas integrais processadas

Carvalho, M. R. B. de et al. Avaliação da atividade dos inibidores de tripsina após digestão enzimática em grãos de soja tratados termicamente. **Revista de Nutrição**, UNESP, 2002.

Daga, A. et al. Análise bromatológica e micotoxicológica do farelo de soja antes e após processo industrial de micronização. **Ciência Rural**, v. 45, p. 1336-1341, 2015.

Deng, Z.; KIM, S. W.. Opportunities and challenges of soy proteins with different processing applications. **Antioxidants**, v. 13, n. 5, p. 569, 2024.

Dozier, W. A.; HESS, J. B.; EL-SHEMY, H. Soybean meal quality and analytical techniques. **Soybean and nutrition**, p. 111-124, 2011.

Embrapa soja. Soja em números (safra 2024/25), 2025. Disponível em: https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos?utm. Acesso em: 12 ago. 2025.

Freitas, S. P. et al. The combined application of extrusion and enzymatic technology for extraction of soybean oil. **Lipid/Fett**, v. 99, n. 9, p. 333-337, 1997.

Garcia, L. R. Qualidade nutricional de farelos de soja comerciais processados no município de Uberlândia. 2020.

Goes, R. H. de T. et al. Alimentos e alimentação animal. **Coleção Cadernos Acadêmicos**, 2013.

Gu, C. et al. “Effects of Soybean Trypsin Inhibitor on Pancreatic Oxidative Damage of Mice at Different Growth Periods.” ***Foods*** *(Basel, Switzerland)* vol. 12,8 1691. 18 Apr. 2023.

He, L. et al. “Soybean Antigen Proteins and their Intestinal Sensitization Activities.” **Current protein & peptide science** vol. 16,7, 2015.
Jardim, Mihayr M. Avaliação da qualidade de farelo de soja para frangos de corte. 2019.

Kohli, V., S., S. Protein digestibility of soybean: how processing affects seed structure, protein and non-protein components. ***Discov Food*** **4**, 7, 2024.

Liener, I. E. et al. Effect of a trypsin inhibitor from soybeans (Bowman-Birk) on the secretory activity of the human pancreas. **Gastroenterology**, v. 94, n. 2, p. 419-427, 1988.

Lima, C.B. et al. Fatores antinutricionais e processamento do grão de soja para alimentação animal. **Agropecuária Científica no Semiárido**, 2014.

Lima, MR de et al. Atividade ureática. **Revista eletrônica Nutritime**, v. 8, n. 5, p. 1606-1611, 2011.Soybean Meal Quality and Analytical Techniques, Soybean and Nutrition, 2011.

Mandarino, J. M. G.; ROESSING, Antônio Carlos. Tecnologia para produção do óleo de soja: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos. 2001

Mantovani, D. et al. Inativação dos fatores antinutricionais que compõem o grão de soja e perdas no processo de extrusão, 2011.
Martins, Graciela P. Soja crua em dietas para a Tilápia-do-Nilo (Oreochromis niloticus), 2011.

Mateos, G. G. Use of soybean products in animal feeding. Part II – Quality control. **NutriNews**, 2020. Disponível em: https://nutrinews.com/en/use-of-soybean-products-in-animal-feeding-part-ii-quality-control/

Milani, N. C.; RUIZ, Urbano dos Santos. **Avaliação do grão e do farelo de soja extrudados na alimentação de leitões recém-desmamados**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo (USP). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALA/BC), 2021.

Monteiro, J. S. Controle de qualidade das principais matérias-primas utilizadas na alimentação animal. 2023. 40 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Zootecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.

Oliveira, A. R. P. Avaliação da importância do controle de qualidade na produção de ração animal extrusada: um estudo de caso. **Revista GeTeC**, v. 7, n. 15, 2018.

Paduch, M.. Avaliação da influência das avarias da soja moída na solubilidade proteica do farelo de soja. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2022.

Parsons, C. M., et al. Soybean protein solubility in potassium hydroxide: an in vitro test of in vivo protein quality. **Journal of animal science**, 1991.

Pereira, R. J.; DAS GRAÇAS CARDOSO, Maria. Metabólitos secundários vegetais e benefícios antioxidantes. **Journal of biotechnology and biodiversity**, v. 3, n. 4, 2012.

Pires, P.G. da S. Inibidores de proteases em dietas contendo soja integral micronizada para leitões desmamados, 2015.
Ribeiro, Ana. Análise molecular de lectinas em sementes de leguminosas, 2008.

Rostagno, H. S. et al. Tabelas brasileiras para aves e suınos. **Composiçao de alimentos e exigências nutricionais. 4rd ed. UFV, Viçosa, MG, Brazil**, 2017.

Ruiz, N. et al. A review: 100 years of soybean meal. **ADM: Chicago, IL, USA**, 2020.

Salinas, HDS et al. Dessolventização e Tostagem do Farelo de Soja: Simulação e Análise Utilizando o HYSYS®. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, 2015.

Salla, M. F. S. Obtenção de uma linhagem de soja sem inibidor de tripsina Kunitz e lectina e sua avaliação bioquímico-nutricional, 2005.

Shàoguāng, W.**, Soja: história, geopolítica e tragédia**. Unisinos.br. Disponível em: https://www.ihu.unisinos.br/categorias/624404-soja-historia-geopolitica-e-tragedia . Acesso em: 12 ago. 2025.

Silva, M. R.; SILVA, Maria Aparecida Azevedo Pereira da. Fatores antinutricionais: inibidores de proteases e lectinas. **Revista de Nutrição**, v. 13, p. 3-9, 2000.

Silva, M. D. Efeitos dos processamentos da soja sobre o desempenho de frangos de corte, 2013.

Soares, J. L. et al. Soja integral processada (fermentada e extrusada) e farelo de soja em substituição ao leite em pó em dieta de leitões desmamados aos 14 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 2000.

Souza, C. G. et al. Fatores antinutricionais de importância na nutrição animal: Composição e função dos compostos secundários. **Pubvet**, v. 13, p. 166, 2019.

Souza, M. O.; MARQUES, Daniela Vieira; MARRA, Renner. O complexo de soja: aspectos descritivos e previsões. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, v. 2, n. 1, 2010.