



ANDRÉ LUIZ SILVA MENDES

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO DE DISPERSÃO
DE AGENTES QUÍMICOS PARA MITIGAÇÃO DO PÓ
ORIUNDO DA DESCARGA DE FARELO DE SOJA EM
MOEGAS**

LAVRAS-MG

2023

ANDRÉ LUIZ SILVA MENDES

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO DE DISPERSÃO
DE AGENTES QUÍMICOS PARA MITIGAÇÃO DO PÓ
ORIUNDO DA DESCARGA DE FARELO DE SOJA EM
MOEGAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Lavras, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Agrícola.

Prof. Dr Fábio Ponciano de Deus

Orientador

LAVRAS-MG

2023

ANDRÉ LUIZ SILVA MENDES

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO DE DISPERSÃO DE AGENTES
QUÍMICOS PARA MITIGAÇÃO DO PÓ ORIUNDO DA DESCARGA DE
FARELO DE SOJA EM MOEGAS**

**DEVELOPMENT OF A CHEMICAL AGENT DISPERSION DEVICE TO
MITIGATE DUST ARISING FROM THE DISCHARGE OF SOY BRAN INTO
MOEGAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Departamento de Engenharia Agrícola da
Universidade Federal de Lavras, como parte
dos requisitos para obtenção do diploma de
Engenheiro Agrícola.

APROVADA em 06 de dezembro de 2023.

M.a. Lorena Júlio Gonçalves, UFLA

M.e. Mádilo Lages Vieira Passos, UFLA

Prof. Dr Fábio Ponciano de Deus

Orientador

LAVRAS-MG

2023

RESUMO

O Brasil destaca-se globalmente no setor do agronegócio, especialmente na produção de soja, sendo o principal exportador do grão. Dada a sua relevância no mercado, têm crescido a discussão e a demanda por monitoramento, rastreabilidade e garantia de origem certificada, especialmente nos terminais portuários. Em um terminal portuário de produtos agrícolas, ocorrem diversas atividades e processos relacionados a movimentação de produtos, como o recebimento, a armazenagem e a expedição. Durante a execução dessas atividades, entram em questão diversas variáveis, dentre elas a produção de pó, que pode causar riscos tanto para a segurança do produto, bem como a segurança de colaboradores que executam suas atividades laborais no terminal. Objetivou-se com este trabalho, desenvolver um mecanismo de controle e diminuição direta da produção de pó oriundo da descarga de farelo de soja das moegas por meio da aplicação de agentes químicos via aspersores localizados nas saídas dos redlers das moegas, em um terminal portuário. Para tanto, foi desenvolvido um sistema composto de tanques de mistura e bombeamento para aplicação da mistura de dois agentes químicos de nome comercial BACTOCID e H+A L1. A calda era conduzida por tubulação de inox conectada aos aspersores que estão localizados nos redlers. Para avaliar a capacidade operacional do sistema, foram realizados testes de vazão. Para verificar possíveis alterações nas propriedades do farelo de soja, após as aplicações computou-se o teor de umidade, a atividade de água e efeito residual do produto. Os testes realizados no farelo promoveram uma ligeira redução visual na quantidade de pó gerado durante a sua movimentação e os resultados das análises laboratoriais indicaram que não houveram alterações significativas em suas propriedades físico-químicas. Isso indica que o sistema de aspersão para a aplicação de agentes químicos diretamente na descarga de farelo de soja nas moegas, pode ser uma possível solução para a supressão de pó em locais onde há uma grande movimentação de produtos a granel.

Palavras-chave: Dispersão de agentes; Supressão de poeira; Armazenamento.

ABSTRACT

Brazil stands out globally in the agribusiness sector, especially in soybean production, being the main exporter of the grain. Given its relevance in the market, discussion and demand for monitoring, traceability and guarantee of certified origin have grown, especially in port terminals. In an agricultural products port terminal, several activities and processes occur related to the movement of products, such as receipt, storage and dispatch. During the execution of these activities, several variables come into question, including the production of dust, which can cause risks to both the safety of the product and the safety of employees who carry out their work activities at the terminal. The objective of this work was to develop a mechanism for controlling and directly reducing the production of dust arising from the discharge of soybean meal from hoppers through the application of chemical agents via sprinklers located at the exits of the hopper redlers, in a port terminal. To this end, a system composed of mixing and pumping tanks was developed to apply a mixture of two chemical agents with the commercial names BACTOCID and H+A L1. The syrup was conducted through stainless steel piping connected to the sprinklers located in the redlers. To evaluate the operational capacity of the system, flow tests were carried out. To check possible changes in the properties of soybean meal, after applications, the moisture content, water activity and residual effect of the product were calculated. The tests carried out on the bran promoted a slight visual reduction in the amount of dust generated during its movement and the results of the laboratory analyzes indicated that there were no significant changes in its physical-chemical properties. This indicates that the sprinkler system for applying chemical agents directly to the discharge of soybean meal in hoppers may be a possible solution for dust suppression in places where there is a large movement of bulk products.

Keywords: Dispersion of agents; Dust suppression; Storage.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. REFERENCIAL TEÓRICO	8
2.1. Cenário da soja e seus derivados	8
2.2. Logística do grão em um terminal portuário.....	9
2.3. Controle de pó.....	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1. Local.....	11
3.2. Composição do sistema	11
3.3. Teste de vazão	18
3.4. Desempenho na aplicação da calda	19
3.5. Análise laboratorial.....	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5. CONCLUSÕES.....	26
6. REFERÊNCIAS	26

1. INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca no agronegócio mundial, principalmente na produção de soja, onde ocupa a posição de maior exportador do grão no mundo, atingindo mais de 78 milhões de toneladas exportadas em 2022 (Associação Brasileira das Indústrias Óleos Vegetais - ABIOVE). Devido a essa grande relevância no mercado, o monitoramento, a rastreabilidade de todo o processo produtivo e a garantia de origem certificada são cada vez mais discutidos e requeridos pelo mercado

Nos terminais portuários de produtos agrícolas, por exemplo, o controle de qualidade deve ser eficiente e rigoroso, pois possuem um grande fluxo de produtos de diversas regiões e é a principal porta de saída para o mercado externo.

No que se refere ao farelo de soja descarregado no terminal portuário, muitas das operações desenvolvidas estão relacionadas a sua movimentação, principalmente nas etapas de recebimento, armazenagem e expedição final. Durante a execução dessas atividades, são observados alguns entraves que podem causar riscos de contaminação do farelo de soja, e de segurança dos colaboradores responsáveis pelas atividades laborais do terminal.

Uma das problemáticas é o volume de pó gerado a partir do manuseio de farelo de soja dentro do terminal. Esse material particulado, por ser menos denso que o ar, pode ficar em suspensão no ambiente, representando um grande risco de explosões. Além disso, seu acúmulo na parte interna e externa das instalações promove a atração de vetores como insetos, pombos e roedores, que trazem uma demanda maior das frequências de limpeza, o que com a complexidade da operação, se torna difícil a realização do trabalho em alguns pontos das estruturas e instalações. Nesse sentido, a supressão do material particulado em suspensão aérea via aspersão de agentes químicos pode reduzir o volume de pó disperso no ar ambiente e conseqüentemente reduzir os riscos de explosão e a atração de vetores, minimizando também os riscos de contaminação microbiológica.

Diante do exposto, objetivou-se minimizar a quantidade de pó diretamente na descarga de farelo de soja das moegas por meio da aplicação de agentes químicos via aspersores localizados nas saídas dos redlers das moegas, em um terminal portuário.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Cenário da soja e seus derivados

A soja integra o conjunto de atividades agrícolas com notável destaque no cenário global. É evidente que a oleaginosa vem ocupando espaço entre os grãos mais consumidos e produzidos em escala mundial, concorrendo com o milho, trigo e arroz. Além disso, a soja destaca-se como a principal oleaginosa cultivada anualmente em todo o planeta. Durante o intervalo compreendido entre os anos agrícolas 2000/01 e 2013/14, tanto a soja quanto o milho se destacam como as culturas que apresentaram os mais notáveis aumentos absolutos, tanto em termos de consumo quanto de produção. Cerca de 90% da soja consumida é destinada ao procedimento de esmagamento, resultando na produção de farelo e óleo de soja numa proporção próxima a 80/20. Dessa forma, o principal produto obtido a partir da oleaginosa é o farelo de soja. (HIRAKURI e LAZZAROTTO, 2014).

O grão de soja, juntamente com seu farelo, representa a principal fonte de proteína vegetal utilizada na produção animal. Além disso, o óleo de soja também desempenha um papel significativo, sendo o segundo óleo mais consumido globalmente, ficando atrás apenas do óleo de palma (GAONKAR e ROSENTRATER, 2019). Atualmente, a soja é o principal grão produzido no Brasil, com grande contribuição na economia nacional. Em 2020, o Brasil se tornou o maior produtor de soja do mundo com 135,4 milhões de toneladas, em uma área de 38,5 milhões de hectares (CONAB, 2021). O país também é o maior exportador da oleaginosa, segundo dados da Associação Brasileira das Indústrias de Óleos vegetais (ABIOVE), em 2022 foram exportadas mais de 78 milhões de toneladas, cerca de 60% da produção total.

Atualmente, a demanda global por soja continua a crescer impulsionada pelo aumento da renda das populações de países emergentes, que incrementa o consumo de carnes e laticínios. Esse fenômeno tem levado ao aumento da produção de carnes em sistemas de confinamento, contribuindo para um aumento significativo na demanda por farelo de soja (SILVA, 2022).

No que diz respeito à produção, observa-se um dinamismo moderado para o farelo e o óleo de soja nos próximos anos. Segundo o MAPA, a previsão é de um aumento de 19,8% na produção de farelo de soja e de 24,0% na produção de óleo. Antecipa-se um crescimento mais expressivo no consumo de farelo em comparação ao óleo de soja, com

taxas de 32,2% e 28,6%, respectivamente. Quanto às exportações de farelo, espera-se um aumento de 8,4% entre 2017/18 e 2026/27, enquanto o óleo de soja apresenta uma projeção de crescimento mais moderado, atingindo apenas 1,0% (MAPA, 2022).

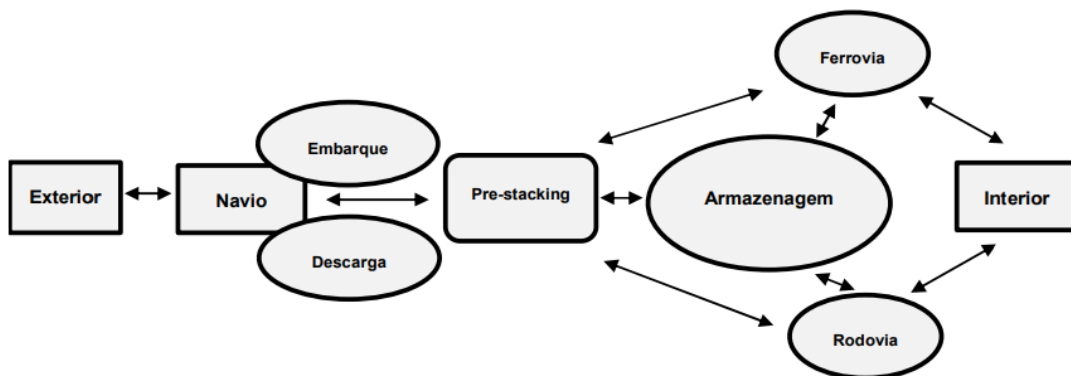
2.2. Logística do grão em um terminal portuário

Atualmente, os portos nacionais enfrentam um significativo aumento na demanda por seus serviços devido ao crescimento das exportações. A globalização dos mercados alterou completamente as dinâmicas comerciais, e a gestão não está mais limitada às fronteiras nacionais (ROBBINS e DECENZO, 2004).

Detentor de mais de 90% do volume de cargas no comércio internacional, o transporte marítimo desempenha um papel fundamental na economia global (KEEDI, 2010; DAVID & STEWART, 2010). Assim, os terminais portuários, são essenciais no comércio internacional, especialmente no que diz respeito ao escoamento do agronegócio brasileiro. Isso ocorre considerando que o Brasil está entre os principais exportadores globais de grãos.

O terminal portuário é uma instalação destinada ao atendimento de navios e cargas especializadas, possuindo infraestrutura específica adaptada aos diferentes tipos de embarcações e cargas. Isso implica na necessidade de uma estrutura apropriada para atividades como embarque e desembarque, estocagem, recebimento e entrega, entre outras (Souza et al, 2020). O fluxo das operações básicas de um terminal portuário está ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Fluxo das operações de um terminal portuário.



A movimentação tanto do grão quanto do farelo de soja ocorre principalmente em terminais especializados conhecidos como terminais graneleiros. Nos terminais graneleiros, toda a logística de transporte e armazenamento do grão é feito a granel. No recebimento do grão ou do farelo, os caminhões e/ou vagões são descarregados nas moegas, e em seguida, o grão é transportado para os armazéns graneleiros, onde ficam estocados até o início do embarque. Após essa etapa o grão é transportado do terminal até o navio para o carregamento.

Nessas instalações, a correia transportadora desempenha um papel fundamental, sendo o elemento básico para as operações de movimentação da carga em vários processos dentro do terminal. Ela é frequentemente utilizada em conjunto com outros equipamentos, como os shiploaders, para realizar o embarque nos navios (PEREIRA, 2017).

2.3. Controle de pó

O armazenamento de grãos a granel é uma modalidade que dispensa o uso de embalagens, utilizando estruturas como silos metálicos, de concreto e armazéns graneleiros (modelo muito utilizado em terminais portuários). Ao chegar nas instalações de armazenamento, os grãos passam por diversas etapas, incluindo recepção, armazenagem e expedição. Durante todo o processo, a movimentação dos grãos é realizada por elevadores e transportadores horizontais (como redlers e correias). Essa movimentação intensiva gera uma grande quantidade de partículas de pó, resultando em poluição no ambiente e no interior do armazém e demais estruturas da unidade (MASSUNARI, 2009).

As unidades de armazenamento geram pó como parte de seu processo, e esse material particulado além de ser um poluente, é perigoso devido à sua alta capacidade de combustão, podendo provocar incêndios e explosões que resultam em danos aos equipamentos e representam ameaças à segurança física das pessoas. O pó consiste em pequenas partículas criadas pela quebra e abrasão de partículas maiores pelo manuseio e processamento. Quando emitido descontroladamente para a atmosfera, o pó pode

prejudicar a saúde de todos os seres vivos e representar riscos significativos ao meio ambiente. Leis, estabelecidas pelos municípios em conjunto com a Secretaria Especial do Meio Ambiente, regulamentam as normas e critérios dos níveis máximos de emissões (Hajnal, 2010).

Segundo Yoshida e Maybank (1980), a quantidade de pó produzida desde a chegada até a saída do grão de uma unidade armazenadora, passando por todas as fitas, elevadores e até durante o empilhamento dentro dos armazéns, corresponde a cerca de 0,5% da massa dos grãos movimentados. Além disso, cerca de 0,1% da massa total, corresponde a quantidade de poeira inalável, que podem causar riscos à saúde e ao bem-estar dos colaboradores que ali trabalham.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local

A pesquisa foi conduzida em um terminal portuário graneleiro de produtos agrícolas, localizado no porto de Paranaguá, no estado do Paraná, no segundo semestre de 2023.

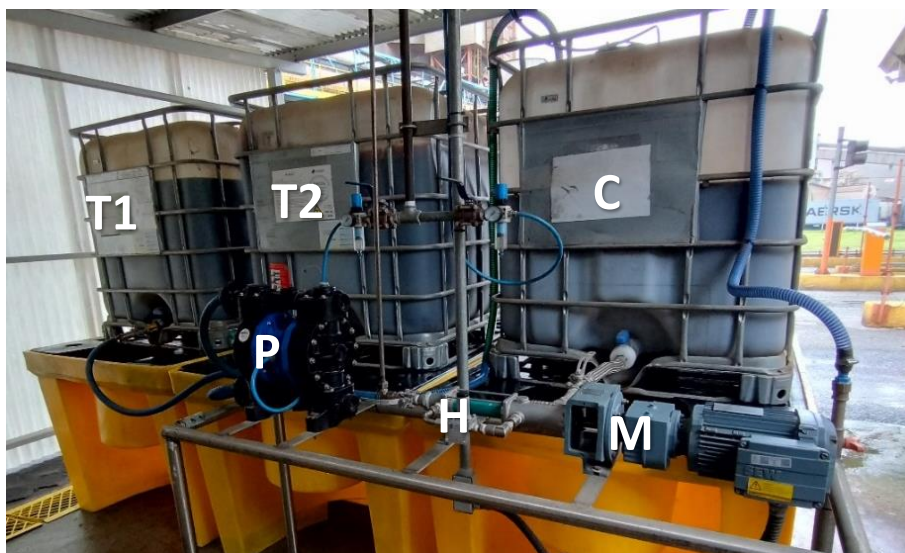
3.2. Composição do sistema

O sistema foi desenvolvido para aplicação de dois agentes químicos, de nome comercial BACTOCID e H+A L1. Os agentes foram aplicados no farelo de soja através de aspersores localizados nos redlers das moegas, com o objetivo de reduzir a produção de pó durante o transporte nas fitas transportadoras e dentro dos armazéns do terminal portuário. Quanto aos ingredientes ativos, estes foram escolhidos para realizar o controle de possível carga microbiológica presente no farelo.

O sistema era composto por 3 tanques de 1000L cada, destinados ao armazenamento individual dos produtos BACTOCID e H+A L1 e um para a homogeneização de ambos com água, gerando a calda. Além dos tanques, o sistema conta com uma bomba pneumática do tipo diafragma, para a dosagem dos produtos,

BACTOCID e H+A L1 no terceiro tanque. Para realizar o bombeamento do conteúdo da calda até o ponto de emissão, foi utilizada uma bomba helicoidal, acionada por um motor elétrico, conforme Figura 2.

Figura 2 - Sistema de aspersão do terminal: T1- tanque com Bactocid; T2-tanque com H+A L1; C- tanque com a calda; M- Motorreductor; H-Bomba helicoidal; P- Bomba pneumática.



Fonte: Imagem do autor.

As informações referentes às bombas e ao motor elétrico estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Informações das bombas e do motor elétrico.

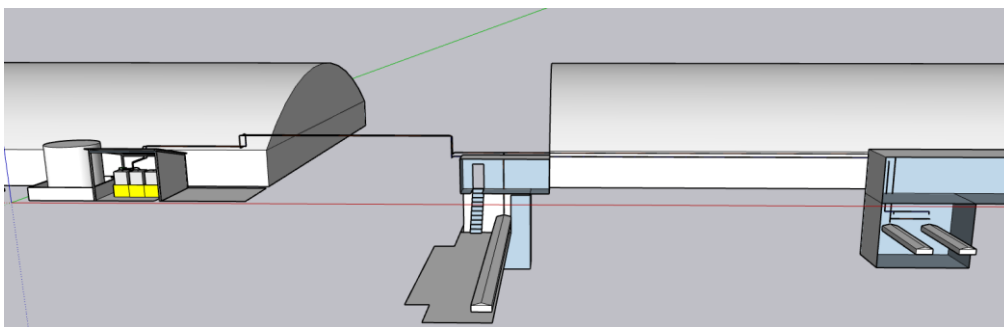
Motor elétrico	
Marca	SEW EURODRIVE
Modelo	DRN80M4
Potência	0,75 W
Nº de polos	4
Rotação	1751 rpm
Frequência	60 Hz
Bomba helicoidal	
Marca	NETZSCH
Modelo	NMO15BY
Potência	100 W
Pressão	3 bar
Rotação máxima	285 rpm
Vazão máxima	360 L/h
Bomba pneumática	
Marca	MEGA FLUX
Modelo	P170

Vazão máxima	170 L/min
Pressão máxima	8 bar
Sucção máxima	9,8 m
Distância máxima	80 m

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

No sistema, os aspersores foram posicionados na estrutura de proteção dos redlers das moegas, denominados com os códigos TCT601, TCT602 e TCT614. Nos redlers TCT601 e TCT602 foram posicionados um aspersor em cada, e no redler TCT614 foram posicionados dois aspersores, devido a sua capacidade maior de transporte de farelo. Os redlers TCT601 e TCT602 recebem a descarga da mesma moega, a moega 2. Já o redler TCT614 recebe a descarga da moega principal, a moega 1, que possui uma capacidade maior de descarga. Para melhor entendimento do layout e do funcionamento do sistema foram elaborados um modelo 3D e um fluxograma, conforme mostram as figuras 3 e 4.

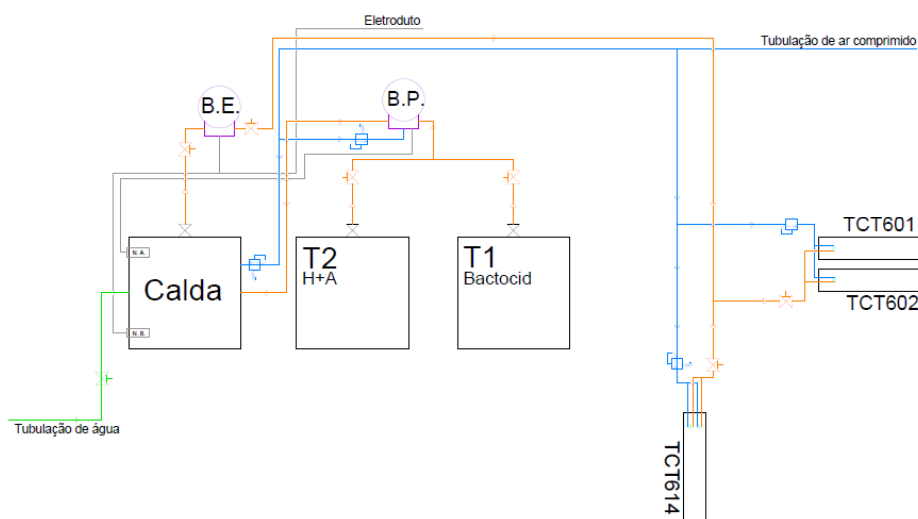
Figura 3 - Modelo 3D do layout da estrutura do sistema de aspersão.



Fonte: Do autor (2023).

O fluxograma do funcionamento do sistema está apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma do sistema de aspersão.



Fonte: Do autor (2023).

O BACTOCID (produto presente no tanque T1), segundo o fabricante, é um aditivo conservante composto por um conjunto de ácidos orgânicos que possuem alta eficiência no controle da contaminação microbiológica de rações e ingredientes de origem animal e vegetal. Esse produto possui ph variando entre 2,0 e 2,5, tendo a composição básica e a dosagem recomendada são exibidos pela Tabela 2.

Tabela 2: Informações sobre o BACTOCID.

Composição básica	Ácido fórmico, ácido propiônico, hidróxido de sódio, propionato de cálcio, corante artificial azul brilhante, corante artificial amarelo tartrazina, veículo.	
Níveis de garantia	Ácido fórmico (mín)	480 g.kg ⁻¹
	Ácido propiônico (mín)	190 g.kg ⁻¹
Dosagem recomendada	1 a 4 kg.t ⁻¹ em ingredientes de origem vegetal	

Fonte: Adaptado de SAFEEDS (2023).

O H+A L1, segundo o fabricante, é um aditivo conservante composto por uma combinação de ácidos orgânicos, surfactantes e emulsificantes, sendo desenvolvido para melhorar a aglutinação e qualidade de peletes, conferindo melhores índices de durabilidade à ração final. As informações referentes a sua composição básica e dosagem recomendada estão na tabela a seguir.

Tabela 3: Informações sobre o H+A L1.

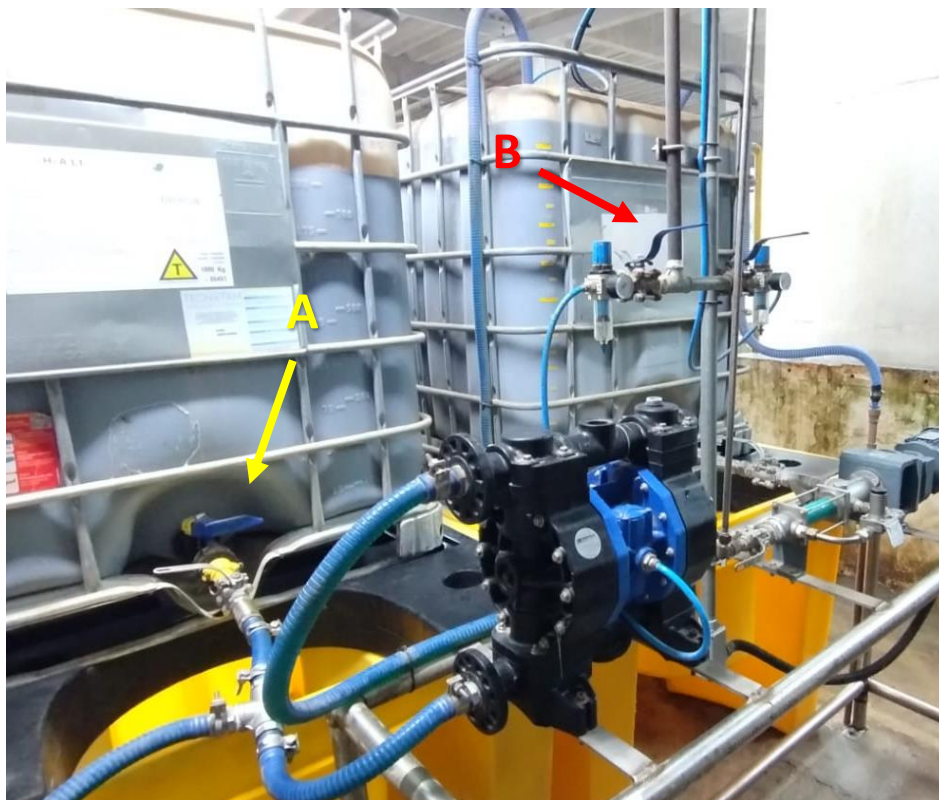
Composição básica	Ácido fórmico, lignosulfonato de sódio, polioxietileno (20), sorbitan monoleato (polisorbato 80), lecitina de soja, ácido propiônico, veículo.	
Níveis de garantia	Ácido fórmico (mín)	10 g.kg ⁻¹
	Ácido propiônico (mín)	1000 g.kg ⁻¹
Dosagem recomendada	0,4 a 3,0 kg.t ⁻¹	

Fonte: Adaptado de SAFEEDS (2023).

Para a dosagem dos agentes químicos, o funcionamento era mediado pela bomba pneumática. A dose foi obtida mediante abertura e fechamento de registros. O registro do tanque do produto a ser dosado (BACTOCID ou H+A L1), era aberto e em seguida o registro da tubulação de ar comprimido (regulado em 1,5 bar através de um regulador de pressão) que aciona a bomba pneumática, conforme mostra a Figura 5. Ao ser acionada, a bomba pneumática fazia o transporte do agente químico para o tanque C, através de

uma mangueira de sucção de 1". A dosagem era realizada com um agente químico por vez. O registro da tubulação de ar comprimido que alimenta a bomba pneumática permanecia fechado durante a troca de agentes químicos e na ausência de aplicação. A dosagem da água foi feita abrindo o registro da tubulação de água que está conectada na tampa do tanque.

Figura 5 - Sistema de dosagem: A – registro do tanque; B – registro da tubulação de ar comprimido.



Fonte: Do autor (2023).

Ao final da dosagem a calda presente no tanque C apresentou 5% do seu volume de BACTOCID, 5% de H+A L1 e 90% de água. Esses valores foram definidos de forma a proporcionar uma aplicação mínima de agentes diretamente no farelo, para evitar possíveis alterações nas propriedades físicas do produto. Ressalta-se ainda que o BACTOCID, já é administrado em outras fases de produção do farelo de soja durante seu processamento nas indústrias, antes de chegar ao terminal portuário.

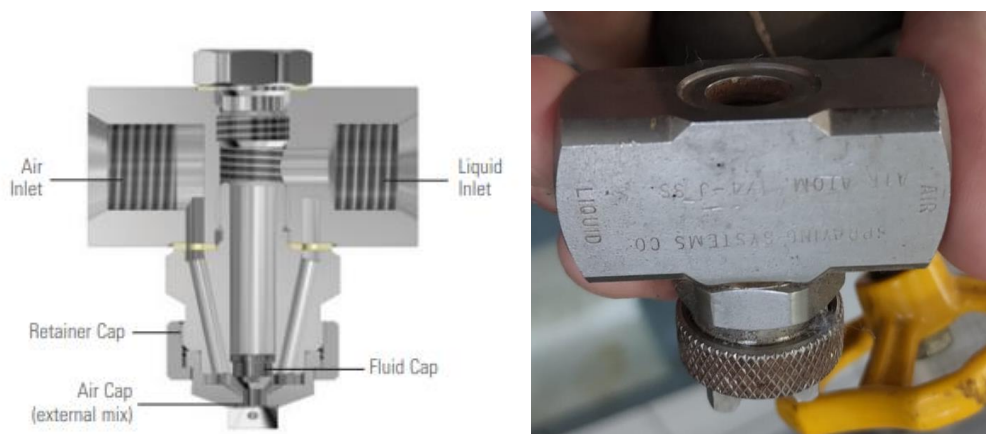
A mistura foi garantida por uma mangueira de ar comprimido regulada em 0,25 bar. O bombeamento de ar para dentro do tanque foi realizado durante o funcionamento

do motor elétrico, após a realização da dosagem dos agentes químicos. Esse processo promove a agitação do conteúdo, homogeneizando a calda para a aplicação.

Após a obtenção da calda, era acionada a parte do sistema responsável pela aplicação, isto é, o motor elétrico, a bomba helicoidal e os aspersores. O motor e a bomba helicoidal estavam localizados na saída do tanque C, e através deles a calda era transportada via tubulação de inox de ½” até os aspersores.

Os aspersores selecionados foram do modelo 1/4J, da fabricante Spraying Systems Co., e possuem duas entradas, sendo uma para líquido e outra para ar, localizados em lados opostos. Esse modelo é construído em aço inoxidável, e pode proporcionar uma vazão máxima de 273 L.h⁻¹. Esses aspersores possuem bocais removíveis e que podem ser trocados por diferentes modelos para proporcionar diferentes aplicações. O conjunto que compõe o aspersor utilizado no sistema foi o Fluid Cap 60100 para a saída do líquido, e o Air Cap 122281 para a saída do ar. A estrutura interna e externa do aspersor é ilustrada na Figura 6.

Figura 6 - A esquerda a estrutura interna do aspersor, e a direita a estrutura externa do aspersor.



Fonte: Catálogo Spraying Systems Co, e imagem do autor.

O acionamento dos aspersores, bem como do motor elétrico foi realizado via painel de controle do terminal portuário. Para o acionamento dos aspersores, foram utilizadas válvulas solenoides do tipo normalmente fechadas, que estavam localizadas antes dos aspersores, no fim das tubulações de ar e de calda. Essas válvulas eram acionadas através de uma alimentação de 24 V em corrente contínua, sendo que ao receber o sinal a válvula se encontrava aberta, e sem o sinal se encontrava fechada.

Nas tubulações de ar comprimido foram instalados reguladores de pressão antes das válvulas solenoides, afim de ajustar a pressão do ar que chega no aspersor. Durante os testes, a pressão do ar que alimenta os aspersores foi fixada em 2 bar, de modo que a pressão aplicada diretamente no produto não seja alta e capaz de provocar a sua movimentação. Já nas tubulações de calda não foram instalados reguladores de pressão, uma vez que a própria bomba helicoidal possui um dispositivo de segurança que limita seu funcionamento em uma pressão máxima de 3 bar.

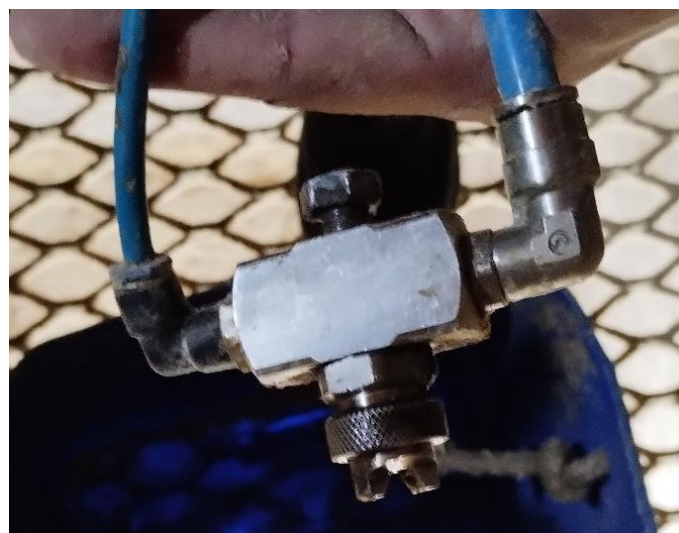
O esquema de ligação da tubulação de ar, antes do aspersor e o aspersor montado estão ilustrados nas Figuras 7 e 8 respectivamente.

Figura 7 - Válvula reguladora de pressão e válvula solenoide para acionamento dos aspersores



Fonte: Do autor (2023).

Figura 8 - Aspersor e sua configuração de montagem.



Fonte: Do autor (2023).

Para o controle do nível da calda no tanque de mistura, foi utilizada uma boia elétrica que enviava um sinal para interromper o funcionamento do motor elétrico, e conseqüentemente a vazão dos aspersores, quando o nível do tanque estivesse baixo (cerca de 100 L) para evitar que a bomba opere a vazio.

3.3. Teste de vazão

Para ajustar os parâmetros de operação do sistema, foram executados testes de vazão com os aspersores. Os ensaios consistiam no funcionamento do sistema em diferentes frequências aplicadas ao motor (15, 30, 45 e 60 Hz), para alterar a sua rotação e conseqüentemente a vazão gerada no sistema. A frequência aplicada ao motor foi modificada através de um inversor de frequência, localizado no painel de controle do terminal portuário.

Para a realização dos testes, o sistema foi acionado, as válvulas solenoides foram abertas, e foi contabilizado o tempo necessário para encher 200 ml de uma proveta de plástico de capacidade total de 1000 ml, repetindo o mesmo processo para as diferentes configurações e cenários.

Figura 9 - Proveta de plástico utilizada nos testes de vazão.



Fonte: Do autor (2023).

Os testes foram feitos considerando três cenários diferentes, sendo que o primeiro teste foi feito com apenas um aspersor acionado, com o intuito de análise do

comportamento individual do aspersor. O segundo foi realizado com dois aspersores acionados simultaneamente, que ilustra o caso real onde será acionado apenas uma parte do sistema, referente a uma das moegas (moega 1 com a descarga através do redler TCT614, ou a moega 2 com a descarga através dos redlers TCT601 e TCT602). E o último teste, foi realizado com quatro aspersores acionados, que acontecerá quando ocorrer a descarga simultânea nas duas moegas.

3.4. Desempenho na aplicação da calda

Após os testes de vazão, foi efetivamente realizada a aplicação dos agentes químicos via sistema de aspersão proposto na descarga do farelo de soja. Para tanto, foi escolhido somente o cenário onde todos os quatro aspersores estavam em funcionamento, ou seja, representando a descarga simultânea nas moegas 1 (TCT614) e 2 (TCT601 e TCT602). Nesta etapa foram adotadas as vazões 12 e 42 L min⁻¹. Valores esses definidos com o intuito de avaliar o funcionamento do sistema sem o risco de promover alterações significativas no teor de umidade e na qualidade do farelo de soja, já que o produto descarregado e usado nos ensaios ainda seria comercializado. Durante os testes, o motor elétrico foi acionado a 15 Hz e para alcançar a vazão desejada, foi adicionado um registro de esfera na tubulação utilizada para o transporte do líquido.

A influência da aplicação nas propriedades do farelo, foi avaliada segundo a coleta de amostras do produto. Para isso, com o sistema de aspersão aciona, as amostras foram coletadas logo na descarga da fita transportadora do armazém, através dos sacos de coleta de amostras, como mostrado na Figura 10.

Figura 10 - Amostras de produto coletadas.



Fonte: Do autor (2023).

Foram coletadas cinco amostras para cada regulagem do sistema (vazão de 12 e 42 L.h⁻¹), e mais cinco amostras do produto descarregado com o sistema de aspersão desligado, para utilizar de referência nos resultados das análises laboratoriais.

Para a supressão de pó não foram coletadas amostras, mas sua avaliação foi realizada de forma visual, através da observação da descarga no armazém, em três situações, com o sistema de aspersão desligado (descarga normal) e com a vazão aplicada de 12 e 42 L.h⁻¹. Para avaliar a supressão de pó com o sistema de aspersão ligado, a descarga foi posicionada fora do monte já existente dentro do armazém, de forma a não ocorrer interferência do farelo já armazenado e que não houve aplicação do produto.

3.5. Análise laboratorial

As análises laboratoriais realizadas foram teor de umidade, atividade de água e efeito residual de produto químico. As características físicas e químicas do farelo de soja, principalmente o teor de umidade, durante a aplicação da calda sobre o farelo, poderão ser utilizadas como referência para a definição de regulagens de vazão do sistema, de forma a se ter uma vazão limite de calda para que as propriedades do produto descarregado não se alterem. Já a análise residual foi realizada para verificar “superdosagem” de agente químico no farelo.

A atividade de água é uma variável qualitativa que indica a disponibilidade de água livre suscetível a diversas reações. Deste modo, essa grandeza não é afetada pelas moléculas constituintes do produto e pode ser utilizada para reações físicas, químicas e biológicas, sendo o principal fator que colabora com a deterioração dos produtos agrícolas (WELTI e VERGARA, 1997). Já o teor de umidade mede quantitativamente a porcentagem em massa de toda a água presente no produto (SCOTT, 1957).

A análise laboratorial para a obtenção do teor de umidade das amostras coletadas, foi realizada utilizando-se o método da estufa. Nesse método, inicialmente são pesadas as capsulas vazias em uma balança analítica, para a obtenção da tara de cada uma. Essas capsulas são utilizadas como recipientes para a acomodação de parte da amostra coletada, que será feita a análise. Em seguida uma porção das amostras (foram utilizados aproximadamente 5 gramas de cada amostra) é colocada em uma capsula, e é obtido o peso da amostra com a capsula.

Figura 11 - Pesagem na balança analítica de parte da amostra que foi coletada.



Fonte: Imagem do autor.

A próxima etapa consiste em manter as capsulas abertas em uma estufa, a uma temperatura de aproximadamente 130°C por duas horas.

Figura 12: Capsulas contendo as amostras dentro da estufa.



Fonte: Imagem do autor.

Passado esse tempo, as capsulas são retiradas da estufa, são fechadas e colocadas em um dessecador, para a redução de sua temperatura até a temperatura ambiente.

Figura 13: Capsulas contendo as amostras dentro do dessecador para resfriamento.



Fonte: Imagem do autor.

Por fim, essas capsulas são pesadas novamente, e é feito o cálculo de acordo com a Equação 1 para a obtenção do teor de umidade.

$$\text{Teor de umidade \%} = \frac{\text{massa de produto após a estufa}}{\text{massa de produto antes da estufa}} * 100\% \quad (1)$$

A análise laboratorial para a obtenção da atividade de água das amostradas coletadas, foi realizado por um laboratório terceiro, seguindo a ISSO18787:2017 utilizando o método do higrômetro de ponto de orvalho. A atividade de água consiste na razão entre a pressão parcial de vapor de água em equilíbrio com o produto analisado e a pressão de saturação de vapor de água em equilíbrio com água pura à mesma temperatura.

A análise laboratorial para a obtenção do efeito residual de produto químico das amostradas coletadas, denominada de análise dos ácidos orgânicos voláteis, foi realizado baseando na aplicação via cromatografia gasosa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nos testes de vazão em cada um dos cenários estão na tabela a seguir.

Tabela 5: Teste de vazão realizado para os três cenários.

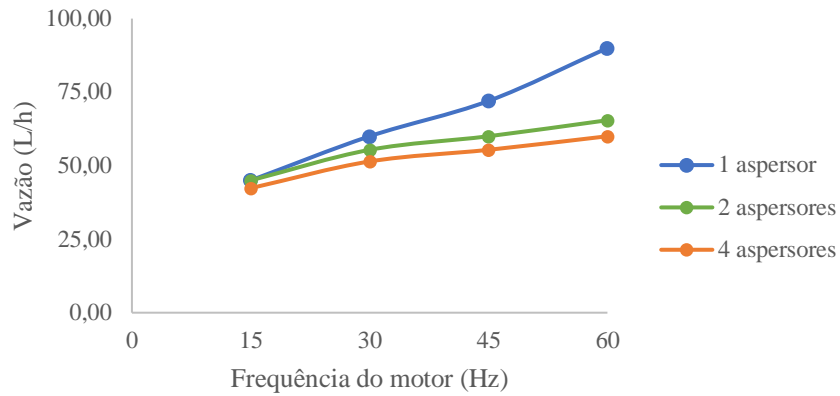
Nº de aspersores acionados	Frequência do motor (Hz)	Volume (L)	Tempo (s)	Vazão (L/min)
1	15	0,2	16	0,700
	30	0,2	12	1,000
	45	0,2	10	1,200
	60	0,2	8	1,500
2	15	0,2	16	0,750
	30	0,2	13	0,923
	45	0,2	12	1,000
	60	0,2	11	1,091
4	15	0,2	17	0,706
	30	0,2	14	0,857
	45	0,2	13	0,923
	60	0,2	12	1,000

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Com os resultados é possível notar que a aplicação por aspersor apresentou redução com o aumento da quantidade de aspersores acionados no sistema. Esse comportamento é resultado da divisão do volume bombeado pela bomba para os aspersores, que acaba reduzindo a vazão final de cada um.

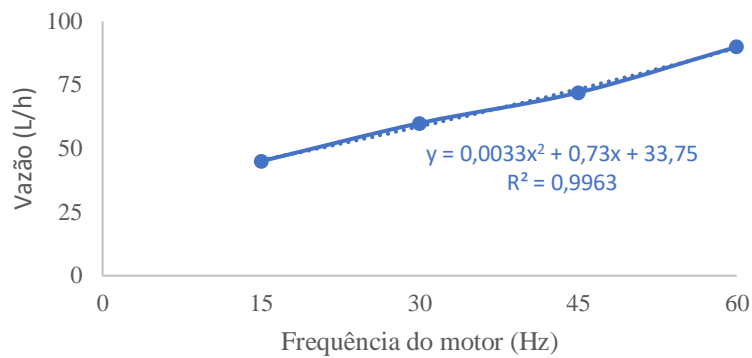
Para cada um dos três cenários, foram obtidas as curvas características de vazão do sistema, através da relação com a frequência aplicada ao motor.

Figura 14: Gráfico com as curvas características de vazão em cada cenário.



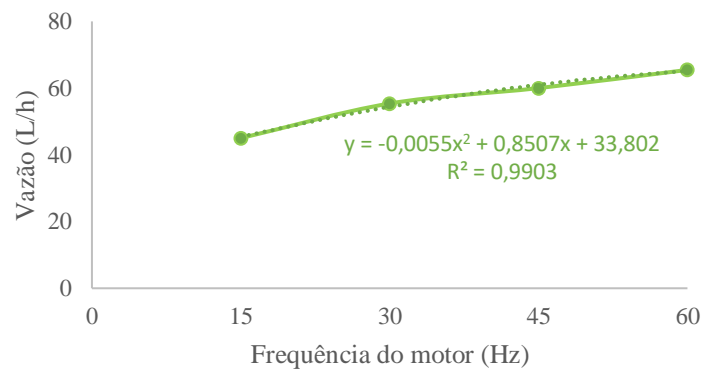
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 16: Gráfico com a curva característica de vazão para o cenário 1.



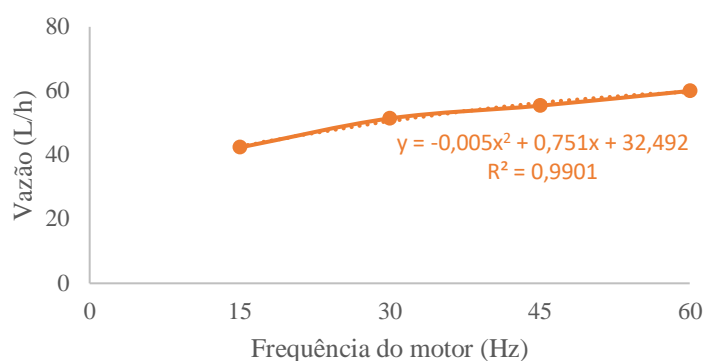
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 17: Gráfico com a curva característica de vazão para o cenário 2.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 18: Gráfico com a curva característica de vazão para o cenário 3.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Com os valores de vazão para cada uma das configurações citadas anteriormente, foi calculado o volume de produto aplicado por tonelada de farelo. Para isso foram utilizados os dados técnicos dos redlers e os dados da quantidade média de farelo que é transportado por hora nos redlers em um dia normal de descarga, sendo que na moega 1, a descarga média é de 1,67 t/min, e de 0,97 t/min na moega 2. Considerando a massa específica do BACTOCID e do H+A L1 sendo de 1,1472 g/ml e 1,1638 g/ml respectivamente, e sabendo que os redlers da moega 2, possuem apenas um aspersor cada, e que para no redler da moega 1 estão presentes dois aspersores. Portanto o volume aplicado por tonelada de farelo em cada cenário está ilustrado na Tabela 6.

Tabela 6 - Volume de produto aplicado por tonelada de farelo, e dosagem aplicada.

Frequência (Hz)	Volume aplicado por tonelada (l/t)		Dosagem aplicada BACTOCID (kg/t)		Dosagem aplicada H+A L1 (kg/t)	
	Moega 1	Moega 2	Moega 1	Moega 2	Moega 1	Moega 2
15	0,773	0,899	0,044	0,026	0,045	0,026
30	1,030	1,107	0,059	0,055	0,060	0,055
45	1,236	1,199	0,071	0,059	0,072	0,060
60	1,546	1,308	0,089	0,065	0,090	0,065

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Portanto, com os resultados é possível notar que a aplicação por tonelada de produto apresentou valores próximos, mas diferentes entre as duas moegas. Porém em ambos os casos, a dosagem aplicada ficou abaixo da recomendada pelo fabricante, que no caso é de 1,0 e 0,4 kg por tonelada de produto para o BACTOCID e H+A L1 respectivamente.

Com relação a supressão de pó, durante a descarga normal, com o sistema de aspersão desligado, foi observado uma quantidade maior de pó em suspensão na saída da correia transportadora, durante a queda do farelo de soja e durante o contato com o monte já armazenado. Já com a aspersão ligada, a aplicação com 0,2 e 0,7 L/min não apresentaram diferenças visuais significativas entre elas, entretanto, nos dois casos foi possível observar uma pequena redução da produção de pó, principalmente durante o contato com o monte já armazenado.

Figura 11: Avaliação da produção de pó durante a descarga.



Fonte: Do autor (2023).

As análises laboratoriais realizadas para a obtenção do teor de umidade, da atividade de água e de efeito residual de produto químico, nas amostras coletadas com o sistema acionado e desligado, obtiveram os seguintes resultados ilustrados na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados da análise laboratoriais realizadas nas amostras coletadas, com média mais erro padrão, mínimo (Mín), máximo (Máx) e tamanho amostral (N).

Vazão (L min ⁻¹)	Teor de umidade (%)				Atividade da água			
	Média	Mín	Máx	N	Média	Mín	Máx	N
0,2	11,07±0,11	10,93	11,24	5	0,638±0,005	0,632	0,644	5
0,7	10,79±0,12	10,63	10,90	5	0,629±0,007	0,629	0,648	5
Sem aplicação	11,13±0,06	11,05	11,20	5	0,645±0,007	0,645	0,663	5

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Portanto, com os valores obtidos na análise laboratorial, observou-se que a aplicação de produto promovida pelo sistema de aspersão com tais regulagens não

promoveu mudanças significativas nas propriedades do farelo de soja. O teor de umidade do farelo permaneceu abaixo do valor máximo permitido para a comercialização (14%). A atividade de água também apresentou o mesmo comportamento, resultando em valores próximos ao produto que não foi submetido a aplicação, estando dentro da faixa de 0,600-0,700, faixa essa que previne a atividade microbiana em muitos alimentos (Bell e Labuza, 1992).

Em relação ao efeito residual dos produtos químicos, não foram observadas quantidades significativas de ácido fórmico e ácido propiônico nas amostras em geral, sendo os valores desconsiderados por ficarem abaixo de 20 mg kg⁻¹.

5. CONCLUSÕES

O sistema de aspersão para a aplicação de agentes químicos diretamente na descarga de farelo de soja nas moegas, pode ser uma possível solução para a supressão de pó.

O sistema de aspersão apresentou resultados positivos, já que nas análises laboratoriais não foram observadas quantidades significativas de efeito residual dos produtos químicos ou alterações de teor de umidade e atividade de água.

A vazão do sistema também pode ser alterada para valores ligeiramente maiores, para se obter uma relação de volume aplicado por tonelada de farelo maior, se atentando a não causar variações significativas em seu teor de umidade e atividade de água.

6. REFERÊNCIAS

BARBOSA, Fladimir de Souza. **Aplicação para controle de emissão de particulado sólido em terminais de descarga de soja**. 2015. Monografia (Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

BELL, L, N; LABUZA, T, P. **Composition influence on the pH of reduced-moisture solutions**. Journal Food Science, 57: 732-734, 1992.

DITCHFIELD, Cynthia. **Estudo dos métodos para a medida da atividade de água**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

EMBRAPA INFORMAÇÕES TECNOLÓGICAS. **Qualidade e certificação de produtos agropecuários**. Brasília, 2002.

GAONKAR, V.; ROSENTRATER, K. A.; Soybean. IN: PAN, Z.; ZHANG, R.; ZICARI, S. **Integrated processing technologies for food and agricultural by-products**. EUA: Academic Press, 2019.

HAJNAL, Roberto. **Técnicas e equipamentos para redução de pó nas unidades armazenadoras**. 2010. Disponível em: <https://eventos.abrapos.org.br/anais/paperfile/16_20160821_20-55-25_440.pdf>. Acesso em 20 out. 2023.

HIRAKURI, Marcelo H.; LAZZAAROTO, Joelsio J. **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro**. Londrina; Embrapa Soja, 2014.

PEREIRA, Felipe George Gomes. **Implantação de terminal portuário no corredor logístico de exportação do Arco Norte**: fatores de decisão entre porto público e terminal de uso privado. 2017. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Naval e Oceânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

ROBBINS, Stephen P.; DECENZO, David A. **Fundamentos de administração: conceitos essenciais e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

SAFEEDS. **Bactocid**: Effect on Carbon Steel Corrosion. Safeeds, 2020.

SAFEEDS. **Ficha técnica BACTOCID**.

SAFEEDS. **Ficha técnicas H+A L1**.

SCOTT, W. J. **Water relation of food spoilage microorganisms**. Adv. Food Res. 7: 83-127, 1957.

SILVA, Sérgio Henrique. **Correlação entre medidas do biospeckle laser e atividade de água de soluções em diferentes concentrações e temperaturas**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

SILVA, N.S.P. **A evolução da produtividade Da soja no Brasil**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. disponível em: <<http://www.cpac.embrapa.br/noticias/artigosmidia/publicados/335/>>. Acesso em: 25 nov. 2023.

Spraying Systems Co. **Catálogo de atomizadores de ar e bicos de pulverização**.

WELTI, J.; Vergara, F. **Atividade de água / Conceito y aplicación em alimentos com alto contenido de humedad**. In: AGUILERA, J. M. Temas em Tecnologia de Alimentos. Santiago – Chile, v. 1, p.11-26, 1997.