

**UNIVERSIDADE BRASIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO ANIMAL
CAMPUS DESCALVADO**

MARIANE ZABOTTO EVANGELISTA

**DESENVOLVIMENTO DE MENSURADOR DE GRANULOMETRIA EM
FÁBRICAS DE RAÇÕES PARA SUÍNOS**

**DEVELOPMENT OF PARTICLE SIZE MEASURER IN SWINE FEEDING
FACTORY**

Descalvado - SP
2021

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO ANIMAL

MARIANE ZABOTTO EVANGELISTA

DESENVOLVIMENTO DE MENSURADOR DE GRANULOMETRIA EM FÁBRICAS DE RAÇÕES PARA SUÍNOS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Animal da Universidade Brasil, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Produção Animal.

Prof(a). Dr(a). Cynthia Pieri Zeferino
Orientador(a)

Descalvado - SP
2021

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da Universidade Brasil,
com os dados fornecidos pelo (a) autor (a).

E92d Evangelista, Mariane Zabetto
Desenvolvimento de mensurador de granulometria em fábricas de rações para suínos / Mariane Zabetto Evangelista – Descalvado: Universidade Brasil, 2021.
71f. : il. ; 29,5cm.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Animal da Universidade Brasil, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Produção Animal.
Orientadora: Profa. Dra. Cynthia Pieri Zeferino

1. Suinocultura. 2. Diâmetro geométrico médio. 3. Tecnologia. I. Título.

CDD 636.4



UNIVERSIDADE
BRASIL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Mariane Zabotto Evangelista

“Desenvolvimento de mensurador de granulometria para fábricas de rações de suínos”

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Produção Animal da Universidade Brasil, pela seguinte banca examinadora:

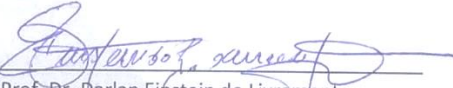


Profa. Dra. Cynthia Pieri Zeferino
(Orientador)

Programa de Pós-Graduação em Produção Animal

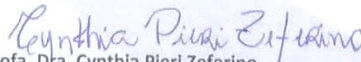


Profa. Dra. Liandra Maria Abaker Bertipaglia
Programa de Pós-Graduação em Produção Animal



Prof. Dr. Darlan Einstein do Livramento
Libertas Faculdades Integradas / FECOM

Descalvado, 25 de junho de 2021.



Profa. Dra. Cynthia Pieri Zeferino

Presidente da Banca

Houve alteração do Título: sim (X) não ()

DESENVOLVIMENTO DE MENSURADOR DE GRANULOMETRIA
EM FABRICAS DE RAÇÕES PARA SUÍNOS



Termo de Autorização

Para Publicação de Dissertações e Teses no Formato Eletrônico na Página WWW do Respectivo Programa da Universidade Brasil e no Banco de Teses da CAPES

Na qualidade de titular(es) dos direitos de autor da publicação, e de acordo com a Portaria CAPES no. 13, de 15 de fevereiro de 2006, autorizo(amos) a Universidade Brasil a disponibilizar através do site <http://universidadebrasil.edu.br/portal/cursos/ppgpa/>, na página do respectivo Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu*, bem como no Banco de Dissertações e Teses da CAPES, através do site <http://bancodeteses.capes.gov.br>, a versão digital do texto integral da Dissertação/Tese abaixo citada, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira.

A utilização do conteúdo deste texto, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, fica condicionada à citação da fonte.

Título do Trabalho: “**Desenvolvimento de mensurador de granulometria para fábricas de rações de suínos**”

Houve alteração do Título: sim (X) não ()

DESENVOLVIMENTO DE MENSURADOR DE GRANULOMETRIA
EM FÁBRICAS DE RAÇÕES PARA SUÍNOS

Autores:

Discente: Mariane Zabotto Evangelista

Assinatura: Mariane Z. Evangelista

Orientador: Profa. Dra. Cynthia Pieri Zeferino

Assinatura: Cynthia Pieri Zeferino

Data: 25 de junho de 2021.

DEDICATÓRIA

A Deus, por me dar essa oportunidade nos estudos, além das tantas que já
tenho recebido em minha vida.
A meus pais e meus irmãos, pela empatia, companheirismo, amor e parceria em
todas as circunstâncias da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela saúde, conforto e por me permitir estudar e somar algo positivo na sociedade.

A empresa Pluvimax Indústria e Comércio de Componentes Hidráulicos Ltda pela ajuda de custo que recebi durante o curso e ao suporte financeiro e técnico em todo o processo.

Ao colega de trabalho José Tadeu Aldrigue, pela parceria técnica no desenvolvimento desse trabalho e também pela empatia e amizade em todas as conversas, dicas e aprendizados no âmbito profissional e pessoal que tivemos. Um ótimo profissional, com vasto conhecimento técnico, além de excelente ser humano. Ao Programa de Mestrado Profissional em Produção Animal, da Universidade Brasil, Campus de Descalvado/SP, por todo o suporte durante o curso, pelas oportunidades e experiências oferecidas.

A minha orientadora Cynthia Pieri Zeferino. Um dos poucos exemplos de humildade, empatia, conhecimento e profissionalismo que já conheci. Por todo o suporte durante o curso, sempre me ajudando de forma proativa na obtenção de créditos, nas correções dessa dissertação, nas dicas e oportunidades de melhoria que tive. Aos professores participantes das bancas Darlan Einstein do Livramento, Liandra Maria Abaker Bertipaglia e Thaila Cristina Putarov, pelas sugestões de melhorias desta dissertação.

As minhas colegas de curso Karine Bonfim e Juliana Frias, pela amizade sincera e suporte durante o EPG 2019 em São Paulo/SP.

Também ao meu colega de curso José Eduardo, pelo suporte logístico durante o EPG 2019 e pelas conversas produtivas que tivemos durante o curso.

Muito obrigada a todos !!!

“No que diz respeito ao empenho, ao compromisso, ao esforço, à dedicação, não existe meio termo. Ou você faz uma coisa bem feita ou não faz” – Ayrton Senna.

(ANDREASI, 2014)

RESUMO

Objetivou-se desenvolver um mensurador inédito de granulometria para moinhos de fábricas de rações para suínos. O trabalho se justifica pela dificuldade de obter a granulometria ideal na produção de ração, pela falta de tecnologias práticas disponíveis no mercado. O protótipo foi constituído de parte de *hardware* (suporte de coleta de amostras de grãos moídos, microscópio digital, anel de iluminação, leds brancos, cilindro pneumático, compressor de ar, tubo do microscópio, potenciômetro, válvula solenóide, conjunto esfínter e conjunto de fixadores) e parte de *software* (programação desenvolvida com o uso do ambiente PyCharm Community®, versão 2020.3, e as bibliotecas Scipy®, Matplotlib®, Datetime®, Numpy®, Time®, Imutils® e Open CV®). Para os testes de validação técnica, o diâmetro geométrico médio foi calculado em dois tratamentos: T1 (envio de amostra de 160 g de grãos moídos a laboratório) e T2 (retirada de 500 g de grãos moídos, para cálculo via protótipo). Para o estudo de viabilidade econômica foram calculados os indicadores valor presente líquido, taxa interna de retorno e *payback* simples e descontado. Para T1, o DGM médio encontrado foi 828,56 μm e o maior número de grãos concentrou-se no intervalo de 500 μm . Para T2, o DGM médio variou entre 831,8 \pm 124,6 μm e 1258,1 \pm 445,1 μm , sendo essas variações não significativas ($p \geq 0,05$). Os resultados sugerem que o mensurador desenvolvido proporciona maior detalhamento na identificação dos valores de DGM, já que faz leitura individual de imagem para cada grão, não considerando o critério peso, que é abordado no T1. O VPL e a TIR foram positivos (R\$ 8.570.902,71 e 387,34%, respectivamente) e os *payback's* simples e descontado foram de menos de 1 mês. Assim, por não gerar uma média simples de DGM, como feito na metodologia laboratorial via densidade, o mensurador apresenta maior detalhamento no método de cálculo. Além disso, a viabilidade econômica foi positiva, sendo o produto de baixo custo e de fácil aquisição por produtores, fábricas de ração comercial ou indústrias de máquinas.

Palavras-chave: Suinocultura. Diâmetro geométrico médio. Tecnologia.

ABSTRACT

The objective was to develop an unprecedented particle size measurer for swine feed factory. This is because there are difficulties to get an ideal granulometry in the feed production, due absence practical technologies available inside market. The prototype was made of hardware parts (stand to collect ground grains sample, digital microscope, lighting ring, white leds, pneumatic cylinder, air compressor, microscope tube, potentiometer, solenoid valve, sphincter set and set of fasteners) and software parts (programation development with environment PyCharm Community®, version 2020.3, and the libraries Scipy®, Matplotlib®, Datetime®, Numpy®, Time®, Imutils® e Open CV®). The average geometric diameter was calculated for 02 treatments: T1 (sendding samples of 160 g ground grains to laboratory) and T2 (removal of 500 g ground grains to calculate with the prototype). LPV, IRR and simple and discounted payback was canculated for economic viability. In T1, the mean AGD found was 828,56 μm and marjority number of grains was at 500 μm gap. In T2, the mean average geometric diameter found was between $831,8 \pm 124,6 \mu\text{m}$ e $1258,1 \pm 445,1 \mu\text{m}$, being these variations no significance ($p \geq 0,05$). These results suggests that measurer develop provides AGD values identification with more detailment, because it made individual read for each grain, don't considering weight critery, what is approached in T1. LPV and IRR were positive (R\$ 8.570.902,71 and 387,34%, respectively) and the simple and discount payback's were less than 1 month. Thus, as the product doesn't give a simple AGD average, like what is made in laboratorial methodology by density, the measurer has more details to calculation method. Moreover, the economic viability was positive, being low cost and with easy buy by farmers, commercial feed factory or machines industry.

Keywords: Pig farming. Average geometric diameter. Technology.

DIVULGAÇÃO E TRANSFERÊNCIA DE CONHECIMENTO

A granulometria dos grãos que compõem a ração de suínos se constitui em fator de extrema importância para o sucesso econômico da produção. Com base nisto foi desenvolvido um mensurador de granulometria para atuação em conjunto com moinhos, dentro das fábricas de ração. O produto calcula o diâmetro geométrico médio dos grãos durante o processo de moagem. Possui metodologia de leitura individual de imagem dos grãos e apresenta intervalo de DGM, como resultado. Se difere do teste laboratorial devido por proporcionar maior detalhamento no método de cálculo. Também apresentou viabilidade econômica positiva, sendo de fácil aquisição pelos interessados, seja produtores, indústrias de máquinas ou fábricas de ração comercial.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da produção de carnes nos últimos 50 anos, em milhões de toneladas.....	19
Figura 2 - Modelo de moinho martelo e suas diferentes peneiras (5; 3; 1,5 e 1 mm).....	21
Figura 3 - Modelo de moinho de rolos	22
Figura 4 – Descrição de um processo de moagem.....	25
Figura 5 - Suporte para coleta de amostras de grãos moídos.....	37
Figura 6 - Conjunto moinho de martelos, motor elétrico e tubulações no espaço físico da fábrica na fazenda Santa Maria, município de Itobi/SP.....	38
Figura 7 - Tubos de saída de grãos moídos do moinho e de transporte para silo de armazenamento, através de rosca helicoidal, no espaço físico da fábrica na fazenda Santa Maria, município de tobi/SP.....	38
Figura 8 - Cápsula de fixação e microscópio.....	39
Figura 9 - Cilindro pneumático instalado junto ao conjunto esfíncter.....	40
Figura 10 - Exemplo de tela do programa Cooling Tech para identificação da escala número de pixels : μm	41
Figura 11 - Cápsula de fixação do microscópio, em posição invertida, para teste de bancada.....	42
Figura 12 - DGM médio das amostras de milho e soja moídos em conjunto.....	49
Figura 13 - Fluxo de caixa do mensurador de granulometria, projetado para 10 anos futuros.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens dos moinhos tipo martelo.....	22
Tabela 2 - Variações nas características de moinhos martelo em pequenas propriedades na região de Concórdia/SC.....	23
Tabela 3 - Variações na granulometria do milho (DGM), no consumo de energia elétrica e no desempenho de 10 moinhos de martelo.....	23
Tabela 4 - Vantagens e desvantagens da pré e pós moagem.....	24
Tabela 5 - Relação entre ingredientes e capacidade de moagem (fator).....	26
Tabela 6 - Exemplo de dados coletados para determinação do DGM.....	27
Tabela 7 - Estimativas de preços e receitas na fase de creche.....	45
Tabela 8 - Cálculo de DGM com base em teste laboratorial.....	47
Tabela 9 - Áreas retangular e esféricas e de DGM através de programação.....	48
Tabela 10 - Identificação de área esférica correspondente.....	48

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ATP	Área Total das Peneiras
BACEN	Banco Central do Brasil
BPF's	Boas Práticas de Fabricação
CA	Conversão Alimentar
CEPEA	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
CD	Consumo Diário
CSLL	Contribuição Social sobre o Lucro Líquido
DGM	Diâmetro Geométrico Médio
DP	Diâmetro dos Furos das Peneiras
DPG	Desvio Padrão Geométrico
EB	Energia Bruta
ED	Energia Digestível
EE	Extrato Etéreo
EM	Energia Metabolizável
EMPRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FUNRURAL	Fundo de Assistência ao Trabalhador Rural
GPD	Ganho de Peso Diário
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IRPJ	Imposto de Renda da Pessoa Jurídica
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MF	Módulo de Finura
NM	Número de Martelos
PB	Proteína Bruta
REMA	Rotação do Eixo do Moinho antes da Moagem
REMD	Rotação do Eixo do Moinho durante a Moagem
TGI	Trato Gastrointestinal
TIR	Taxa Interna de Retorno
TM	Taxa de Moagem
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
VPL	Valor Presente Líquido

LISTA DE SÍMBOLOS

μm	Micrômetros
mm	Milímetros
cv	Cavalo-vapor (unidade de medida da potência de máquinas)
ton/h	Toneladas por hora
m/s	Metros por segundo
g/dia	Gramas por dia
kg	Quilograma
g	Gramas
vs.	Versus
kcal/kg	Quilocaloria por quilo
n/mm ²	Newton por milímetro quadrado
LUX	Unidade de medida do fluxo luminoso por unidade de área
cm	Centímetros
v	Volts (unidade de medida da tensão elétrica)
Hz	Hertz (unidade de medida da frequência, em ciclos por segundo)
hp	<i>Horsepower</i> (unidade de medida da potência de motores)
bar	Unidade de medida da pressão
K	Kilo - fator de conversão em que 1 equivale a 1000 Ohms (unidade de medida de resistência elétrica, dada pela relação tensão/corrente)
L/min	Litros por minuto
μm^2	Micrômetro quadrado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
3 REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1 IMPORTÂNCIA DA SUINOCULTURA NO BRASIL E NO MUNDO.....	19
3.2 FABRICAÇÃO DE RAÇÃO E O PROCESSO DE MOAGEM.....	20
3.3 GRANULOMETRIA NA QUALIDADE DA MOAGEM E DA RAÇÃO	28
3.4 GRANULOMETRIA PARA SUÍNOS: DESEMPENHO, DIGESTIBILIDADE, SAÚDE INTESTINAL E ÚLCERA	29
3.5 GRANULOMETRIA E VIABILIDADE ECONÔMICA NA PRODUÇÃO SUINÍCOLA.....	36
4 MATERIAL E MÉTODOS	37
4.1 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO.....	37
4.2 TESTE PARA VALIDAÇÃO DE FUNCIONAMENTO.....	41
4.3 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA.....	44
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
5.1 TRATAMENTO T1 – CÁLCULO DE DGM VIA TESTE LABORATORIAL	47
5.2 TRATAMENTO T2 – CÁLCULO DE DGM VIA MENSURADOR DESENVOLVIDO.....	47
5.3 VIABILIDADE ECONÔMICA	50
6 CONCLUSÃO	52
REFERÊNCIAS	53
APÊNDICE A – Itens de hardware do suporte para coleta de amostras e suas características técnicas.	59
APÊNDICE B – Fotos parciais das amostras feitas pelo microscópio	62
APÊNDICE C – Arquivo parcial de texto com largura (μm), altura (μm) e área retangular dos grãos, em μm^2.....	63
APÊNDICE D – Imagens parciais do contorno dos grãos em escala de cinza ..	64
APÊNDICE E – Fluxo de caixa projetado, valores em reais	65
APÊNDICE F – Custos de matérias-primas do mensurador de granulometria ..	66
APÊNDICE G – Cálculos da depreciação	67
APÊNDICE H – Custos com alimentação na fase de creche	68
APÊNDICE I – Cálculo da despesa com energia elétrica	69
APÊNDICE J – Cálculo de custos com limpeza e desinfecção	70
ANEXO A – Resultado do teste laboratorial via peneira seca	71

1 INTRODUÇÃO

A alimentação é o item mais oneroso na produção de suínos e responde por cerca de 70% dos custos (FORMIGONI et al., 2017; CONAB, 2018). Desta forma, torna-se importante a adoção de estratégias para diminuir esse custo ou mesmo otimizá-lo.

A moagem é a primeira etapa de processamento ao qual as matérias-primas são submetidas e é responsável por grande parte do custo de produção (FUCILLINI; VEIGA, 2014). Assim, ações no processo de moagem podem reduzir/otimizar os custos de produção, já que este influencia na qualidade das rações. Para Manzke et al. (2016), é importante verificar a eficácia da moagem, pois grãos muito grandes não são bem aproveitadas pelos suínos e resultam em desperdício de ração.

Além disso, a moagem determina a granulometria dos ingredientes maiores e de maior inclusão na ração final e está relacionado ao desempenho dos animais, ao custo da fabricação de ração e ao nível de poluição ambiental, pelos dejetos.

Com base no exposto acima, o presente trabalho objetivou desenvolver um mensurador de granulometria na moagem de grãos em fábricas de ração para suínos, com a finalidade de identificar a granulometria do produto final e comparar seus resultados aos de análise laboratorial tradicional.

O trabalho se justifica pela dificuldade de obter a granulometria ideal dos grãos moídos da ração na produção suinícola. Este desafio se baseia na falta de tecnologias para identificação de granulometria de forma automática, sem a necessidade de procedimentos anteriores para tal identificação, por parte do operador. As tecnologias disponíveis no mercado podem ser tecnicamente insuficientes para a fábrica de ração, de forma que, sendo de caráter informativo apenas, podem não oferecer uma solução prática ao processo de identificação de granulometria. Também se justifica pelo fato de uma granulometria ideal ajudar no aproveitamento dos nutrientes pelo animal, minimizar a incidência de úlceras (JUNIOR & MAGRO, 1998), promover boa aceitação, digestibilidade, desempenho e manutenção da saúde (ZANOTTO & MONTICELLI, 1998). Além disso, a maioria dos estudos de viabilidade econômica na suinocultura são referentes à implantação de biodigestores nas instalações, não havendo na literatura estudos econômicos que abordam tecnologias para mensurar granulometria.

2 OBJETIVOS

Desenvolver um mensurador de granulometria para moinhos em fábricas de rações para suínos, com base em leitura de imagem e algoritmo. Realizar testes de validação do produto, além do estudo de viabilidade econômica.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

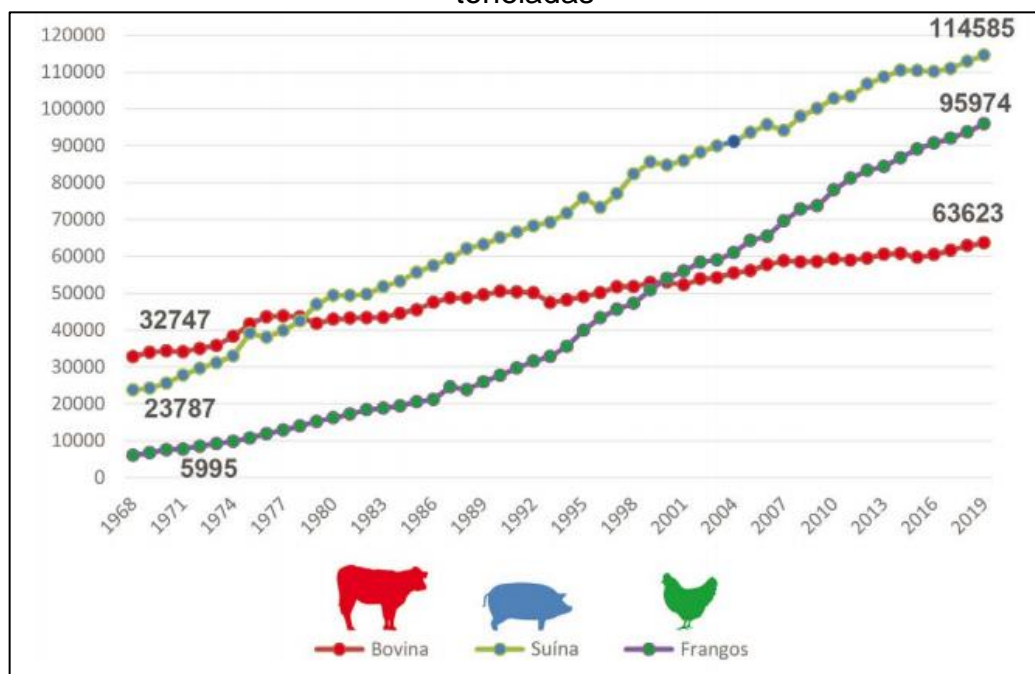
- Realizar os testes de bancada para validar o funcionamento do protótipo.
- Realizar o levantamento de custos do protótipo e da produção de suínos em creche, utilizando uma granja modelo para coleta de dados.
- Confeccionar o fluxo de caixa futuro para o estudo de viabilidade econômica.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 IMPORTÂNCIA DA SUINOCULTURA NO BRASIL E NO MUNDO

Nos últimos 50 anos, a produção de carne suína aumentou cerca de 40% em comparação à carne bovina e de frango, conforme mostrado na Figura 1. A produção mundial dessa proteína vem crescendo a uma taxa média de 0,5% ao ano (MARTINS et al., 2018).

Figura 1 - Evolução da produção de carnes nos últimos 50 anos, em milhões de toneladas



Fonte: Martins et al. (2018)

Nesse cenário, a suinocultura é uma atividade importante para o Brasil. O país é o terceiro maior produtor da carne, com 4.130 mil toneladas, ficando atrás apenas da China (34.000 mil toneladas) e União Europeia (24.150 mil toneladas). Também é o terceiro maior exportador, com 1.000 mil toneladas exportadas (MARTINS et al., 2018). No Brasil, os estados de Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul se destacam na atividade, respondendo por 27%, 20% e 18%, respectivamente, da produção total do país. A estimativa futura de demanda *per capita* por proteína animal, inclusive de carne suína, deve ser de 83 kg nos países desenvolvidos, 59,6 kg na China e 59,1 kg nos países da América Latina (EMBRAPA, 2019).

Assim como nos anos anteriores, em 2018 a suinocultura sofreu com altos custos de produção decorrentes do aumento nos preços dos principais insumos para as rações (MARTINS et al., 2018). Além deste desafio, o produtor enfrenta outros, os quais influenciam na produtividade e na rentabilidade, como a necessidade de se adequar às exigências do mercado consumidor, a dificuldade no cumprimento da legislação ambiental e a nutrição. Este último está relacionado com o desempenho dos animais, com os custos de produção e, também, com o poder poluente dos dejetos, sendo importante seu gerenciamento.

3.2 FABRICAÇÃO DE RAÇÃO E O PROCESSO DE MOAGEM

A indústria brasileira de rações tem aumentado nos últimos anos. Atualmente, o setor conta com 3.760 estabelecimentos fabricantes, importadores e fracionadores de produtos para alimentação animal e 33 propriedades rurais fabricantes de ração e afins para uso próprio, registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (SINDIRAÇÕES, 2020). Além desse número, deve-se considerar as várias propriedades brasileiras não cadastradas, mas que fabricam rações para consumo dos próprios plantéis.

A qualidade das rações implica em cuidados ao longo de todo o processo de produção, desde a seleção de ingredientes pelos fornecedores, recebimento, estocagem, secagem, limpeza, moagem, mistura, peletização, pesagens, até as etapas de empacotamento e transporte (BELLAVÉR & NONES, 2000). Erros em uma ou mais etapas na produção de rações podem resultar em prejuízos expressivos, já que a alimentação corresponde à maior parcela de custos de produção de suínos. O conhecimento das etapas do processo de fabricação de ração dá suporte para a obtenção dos níveis nutricionais desejados na produção de suínos e também contribui para a gestão da propriedade, como um todo (LARA, 2010).

Em geral, a primeira parte na fabricação de ração é a pesagem das matérias-primas. Nessa etapa, as matérias-primas maiores e de maior quantidade são moídas e pesadas em balanças e, por sua vez, os ingredientes de menor quantidade são comprados pesados manualmente. A etapa seguinte é a mistura de todos os ingredientes no misturador, seguida do descarregamento, o qual pode encaminhar o material para o processo de peletização, ou já para uso final na produção de suínos, como ração farelada ou úmida. Assim, o controle do processo de moagem é importante, pois está ligado à eficiência na gestão de custos e na fabricação de ração,

além do desempenho e produtividade dos animais e possivelmente ao nível de poluição ambiental, através dos dejetos (BALDISSERA, 2009).

A moagem é o primeiro processo na fabricação e consiste em triturar ingredientes maiores (grãos) e de maior concentração para que sejam facilmente misturados aos micronutrientes nas concentrações previstas nas fórmulas de ração e sigam para as etapas seguintes do processo de fabricação e no fim estejam bem distribuídos na mistura final, aceitos e consumidos pelos suínos. Esse processo é realizado por moinhos que submetem o ingrediente à quebra e peneiramento, onde a granulometria final é determinada. A granulometria é, então, a medida do tamanho dos grãos moídos e pode ser expressa em diâmetro geométrico médio (DGM) expresso em micrômetros (μm) ou em milímetros (mm) (EVANGELISTA et al., 2021).

Existem dois tipos de moinho usados nas fábricas de ração: martelo e rolo. O moinho martelo consiste em um conjunto de facas, denominadas “martelos”, que medem alguns milímetros de espessura. São perfiladas umas às outras, paralelamente, e ligadas a um eixo de alta rotação. Geralmente a peneira é fixada abaixo desse sistema e o conjunto moinho e peneira fica dentro da câmara de moagem (FUCILLINI; VEIGA, 2014). Há vários modelos desse moinho disponíveis a campo. Abaixo, a Figura 2 exemplifica um modelo.

Figura 2 - Modelo de moinho martelo e suas diferentes peneiras (5; 3; 1,5 e 1 mm, respectivamente)

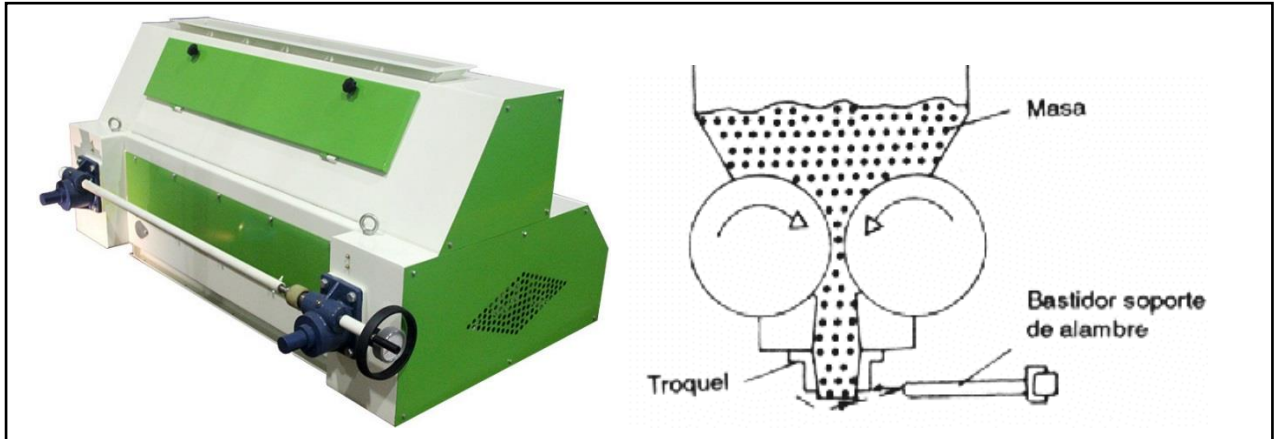


Fonte: Zheng Chang (2020).

O moinho de rolo é composto, basicamente, de dois rolos que giram em direções contrárias, em velocidades iguais ou diferentes, podendo também consistir em um único rolo que gira contra uma superfície (UFRGS, 2020). O objetivo é que a matéria-prima seja comprimida e quebrada para que o material granulado resultante seja esmagado e de tamanho menor (ZHENG CHANG, 2020). Igual ao moinho de

martelo, o de rolo apresenta grande variedade de modelos no mercado. A Figura 3 mostra um modelo:

Figura 3 - Modelo de moinho de rolos



Fonte: UFRGS; ZHENG CHANG, 2020.

O mais predominante, usado mundialmente, é o de martelos, cujas vantagens e desvantagens seguem na Tabela 1:

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens dos moinhos tipo martelo

Vantagens	Desvantagens
- Produz grande faixa de granulometria;	- Gasta mais energia elétrica;
- Trabalha com qualquer material fibroso;	- Gera calor que reduz a umidade dos grãos;
- Tem menor custo inicial;	- Gera barulho e poluição;
- Tem menor custo de manutenção;	- Necessita de sistema para exaustão de ar;
- O funcionamento e a operação são simples.	- Variação no DGM para a mesma peneira.

Fonte: Adaptado de Biagi (1998).

Os modelos e as características dos moinhos estão relacionados com o DGM. Por sua vez, a granulometria do milho processado em moinhos de martelo é alterada por diversos fatores, como por exemplo: diâmetro dos furos da peneira, área de cobertura da peneira, potência do motor, número de martelos e peneiras, vazão da moagem, teor de umidade dos grãos, desgaste do moinho (MARTIN, 1998) e sistema de extração do material pós moagem, seja por gravidade ou não (COSTA, 1998).

Oliveira et al. (1991) realizaram um levantamento das características dos moinhos martelo presentes nas pequenas propriedades, na região de Concórdia, em Santa Catarina. As variações de resultado seguem na Tabela 2:

Tabela 2 - Variações nas características de moinhos martelo em pequenas propriedades na região de Concórdia/SC

Variáveis	Variações
Furos da peneira	De 2 a 6 mm
Rotação do motor	De 3.332 a 4.843 rpm
Espaço entre os martelos	De 0,65 a 9,00 mm
Número de martelos	De 10 a 28
Superfície de impacto do martelo	De 50,40 a 132,30 mm

Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (1991)

Pozza et al. (2005) avaliaram a granulometria do milho (DGM), o consumo de energia elétrica e o desempenho de 10 moinhos de martelo provenientes de 10 diferentes fazendas. Os resultados relatados apontaram variações, conforme Tabela 3:

Tabela 3 - Variações na granulometria do milho (DGM), no consumo de energia elétrica e no desempenho de 10 moinhos de martelo

Variáveis estudadas	Variações encontradas
Diâmetro geométrico médio (DGM)	De 464 a 912 μ m
Consumo de energia elétrica	De 6,13 a 20,03 kw/h
Diâmetro dos furos das peneiras (DP)	De 1,44 a 3,28 mm
Número de martelos (NM)	De 15 a 48
Área total das peneiras (ATP)	De 618,45 a 2.401,20 cm ²
Rotação do eixo do moinho antes da moagem (REMA)	De 3.540 a 5.334 rpm
Rotação do eixo do moinho durante a moagem (REMD)	De 3.540 a 5.214 rpm
Taxa de moagem (TM)*	De 0,2 a 2,1 toneladas/h

*Tempo (minutos) \div quantidade (kg)

Fonte: Adaptado de Pozza et al. (2005)

Os autores verificaram que há correlação positiva entre taxa de moagem (TM) e diâmetro dos furos das peneiras (DP) para o DGM e negativa de potência do motor e área total das peneiras (ATP) para o DGM. Foi relatado que os moinhos com potência acima de 20 cv não reduziram a rotação do eixo estando vazio ou durante a moagem. Assim, concluiu-se que a variação na TM e no consumo de energia elétrica pode ser devido às diferentes características dos moinhos e ao desgaste, devido ao uso e à potência dos motores.

O moinho de rolos parece ser mais eficiente no consumo de energia, mas pode não moer os grãos em granulometrias menores que 600 μ m, enquanto que moinhos martelo podem moer a 300 μ m ou menos (ROJAS & STEIN, 2015). Apesar disso, Buzen et al. (2008) afirmam que os estudos sobre o tipo de moinho e a granulometria não são conclusivos e merecem maior atenção. Isso também pode se justificar pela influência destes na qualidade da ração, já que a maioria dos equipamentos das fábricas foi projetada desconsiderando o acúmulo de resíduos, além de dificultar a inspeção e a limpeza (PELLEGRINI, 2011). Manzke et al. (2016) afirmam que a

moagem imediata dos ingredientes, assim que descarregados, pode garantir a qualidade, pois minimiza perdas de nutrientes por reações químicas e microbiológicas, ou pelo ataque de insetos e roedores durante a etapa de armazenamento.

Para Lara (2010), a escolha do conceito pré ou pós-moagem é importante e merece atenção para a obtenção de qualidade nutritiva e fisiológica do produto final. Segundo o autor, a pré-moagem representa o *layout* original usado na montagem de fábricas de ração no Brasil e consiste em moer individualmente os ingredientes e, depois, dosá-los. Na pós-moagem, ou moagem conjunta, o sistema fica entre a dosagem e a mistura no meio da linha de produção e todos os ingredientes são armazenados nos silos de dosagem. As vantagens e desvantagens desses conceitos seguem na Tabela 4:

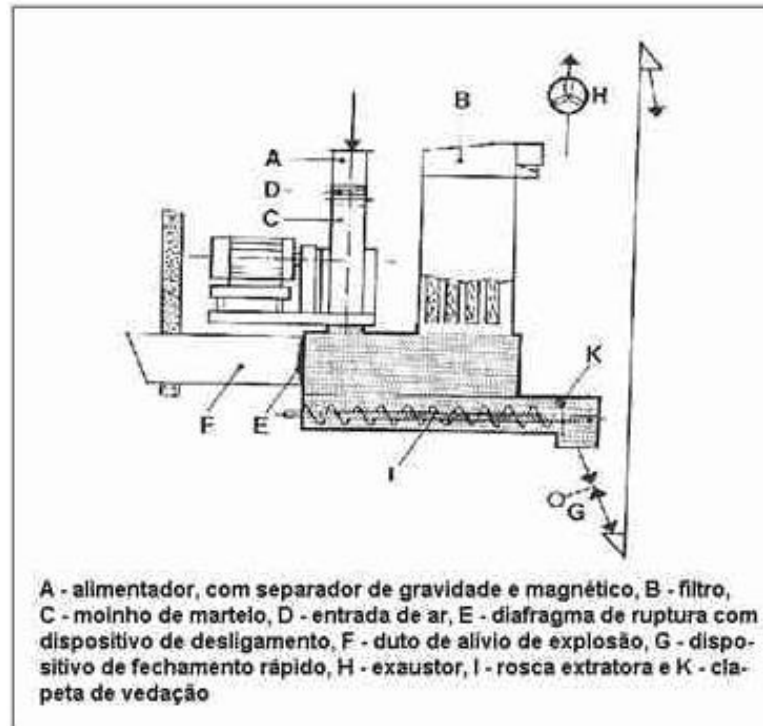
Tabela 4 - Vantagens e desvantagens da pré e pós-moagem

Pré-Moagem		Pós-Moagem	
Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens
Moinho independente da linha de mistura;	Alto investimento em silos e transportadores;	Menos investimentos em silos e transportadores;	Capacidade da linha de produção depende da capacidade da moagem;
Uso completo da capacidade de moagem;	Dificuldade de moer materiais fibrosos, como aveia e cevada.	Produtos ficam com granulometria mais uniforme, pois não se troca a peneira, mantendo a mesma malha;	Capacidade do moinho não é completamente utilizada;
Permite que a granulometria seja alterada alternando as peneiras;		Tritura produtos considerados de difícil moagem, como aveia e cevada.	Moinho trabalha vazio entre as bateladas.
Ingredientes moídos em separado e depois dosados.			

Fonte: Lara (2010); Oliveira et al. (2012).

Contudo, o processo de moagem não se limita ao funcionamento dos moinhos. É um processo complexo que envolve alimentador, filtro, moinho, entrada de ar, diafragma, duto de alívio, dispositivo de fechamento, exaustor, rosca extratora e clapeta de vedação, conforme a Figura 4:

Figura 4 – Descrição de um processo de moagem



Fonte: Lara (2010).

De acordo com Lara (2010), o alimentador (A) proporciona a alimentação do moinho e a capacidade de produção é ajustada por conversor de frequência, ligada ao motor do alimentador. Este equipamento deve possuir separador de materiais estranhos e proteção magnética para proteger a peneira e os martelos.

O pulmão retém o material poroso, fazendo que a maior parte do produto se direcione para a rosca extratora (I).

O sistema de aspiração é composto de exaustor (H) e filtro (B), e tem a função de auxiliar na retirada do produto da câmara de moagem.

A clapeta (K) da rosca extratora forma um selo, fazendo com que o fluxo de ar passe apenas pela entrada de ar (D) do moinho, e, através da câmara de moagem, deste modo permitindo a máxima eficiência de moagem.

Para a proteção contra explosão, existem dispositivos adicionais que devem ser instalados: diafragma de ruptura com dispositivo de desligamento (E) que, na ocorrência da ruptura, aciona o fechamento do dispositivo de fechamento rápido (G) e evita o alcance da explosão para a parte interna da fábrica. O duto de alívio (F) direciona a explosão para a parte externa do prédio.

Apesar de todo o aparato que o sistema de moagem fornece, em termos de equipamentos, ainda há fatores que influenciam a eficácia da moagem. Para Lara (2010), esses fatores são:

- Matéria-prima: propriedades de plasticidade e solidez, teor de umidade (aumento de 1% na umidade do ingrediente resulta em aumento de 7% no consumo de energia elétrica) e a relação entre ingrediente e capacidade de moagem, conforme Tabela 5:

Tabela 5 - Relação entre ingredientes e capacidade de moagem (fator)

Ingrediente	Aveia	Cevada	Trigo	Milho	Farelo de Soja
Fator	1	2	3	4	5

Fonte: Lara (2010).

Pelo fator, um moinho que processa 2 t/h de cevada, irá processar 5 t/h de farelo de soja, por exemplo.

- Velocidade periférica: é recomendado 90 m/s. Superior a isso, os grãos que já atingiram a granulometria desejada permanecem mais tempo na moagem, resultando em maior proporção de grãos finos e maior consumo de energia elétrica.
- Número de martelos: quanto maior o número, maior a chance de ocorrência de grãos finos; quanto menor, maior a chance de grãos grossos, além do menor consumo de energia elétrica.
- Espessura dos martelos: os mais finos (3 mm) proporcionam maior capacidade do moinho e menor consumo de energia. Os mais grossos (9 mm) “empurram” o material, ao invés de moer.
- Desgaste dos martelos: quanto maior, pode aquecer a matéria-prima e aumentar o risco de rompimento da peneira.
- Área de malha: quanto maior o diâmetro da malha, menor os espaços entre os furos e menor a vida útil da peneira. Porém, há maior capacidade de produção e menor consumo de energia.
- Ventilação das peneiras: contribui para a saída dos grãos com granulometria adequada da câmara de moagem, podendo também reduzir a umidade do material.

A forma, de frequente uso em laboratórios, para se calcular a granulometria dos ingredientes de rações para aves e suínos, segundo Zanotto & Bellaver (1996), consiste nos seguintes passos:

- 1) Retirar amostras de vários pontos do lote moído (totalizando cerca de 1 kg) e colocar em saco plástico. Homogeneizar a amostra no próprio saco e retirar 500 g, colocando em bandeja de secagem;
- 2) Secar a amostra em estufa a 105°C, por 24 h (se o teor de umidade do material for maior que 13%, deixar secar por mais tempo). Retirar da estufa e aguardar até atingir a temperatura ambiente;
- 3) Pesquisar individualmente as peneiras (P_{i_1}) e montá-las no equipamento vibrador, sobrepondo-as em ordem crescente de abertura de malhas;
- 4) Pesquisar 200 g da amostra e colocar no conjunto de peneiras. Tampar e prender as peneiras ao agitador de peneiras. Ajustar o reostato do equipamento na posição 8 e fazer o peneiramento, por 10 minutos;
- 5) Pesquisar individualmente as peneiras com material retido (P_{i_2});
- 6) Calcular o peso da fração retida: $P_{i_2} - P_{i_1}$;
- 7) Calcular a porcentagem da fração retida: $\frac{\text{fração retida} * 100}{\text{peso da amostra}}$

Um exemplo de resultados segue na Tabela 6:

Tabela 6 - Exemplo de dados coletados para determinação do DGM

Peneiras (ABNT)*	Furos (mm)	Material retido (g)	% de fração retida	Ki**	Ki x % de fração retida
5	4,0	5	2,5	6	15,0
10	2,0	19	9,5	5	47,5
16	1,2	40	20,0	4	80,0
30	0,6	76	38,0	3	114,0
50	0,3	37	18,5	2	37,0
100	0,15	23	11,5	1	11,5
Fundo	0,00	0	0,00	0	0,00
Total		200	100,00		305,00

* Norma ABNT NBR NM 248, para padronização de peneiras (números: 5, 10, 16, 30, 50, 100 e fundo correspondem às aberturas de malhas: 4; 2; 1,20; 0,60; 0,30; 0,15 e 0 mm, respectivamente).

** Índice que relaciona números de 0 a 6 com o tamanho do material moído, sendo 0 para a maior proporção de partículas finas e 6 para maior proporção de partículas grossas (ZANOTTO et al., 1995).

Fonte: Zanotto & Bellaver (1996)

Aplica-se então a fórmula proposta por Handerson & Perry (1955):

$$DGM = 104,14 * 2^{MF}$$

onde MF é o módulo de finura, obtido pela fórmula:

$$\frac{\text{soma dos valores de } Ki * \% \text{ de fração retida}}{\text{soma dos valores de } \% \text{ de fração retida}}$$

Como apenas a malha das peneiras é insuficiente para indicar a granulometria com precisão, usa-se o módulo de finura como cálculo adicional (ZANOTTO et al., 1995).

Para este exemplo, o MF calculado foi 3,05 ($305 \div 100$).

Assim, o DGM encontrado foi 862 μm ou 0,862 mm^1 ($104,14 * 2^{3,05}$).

De forma geral, a granulometria é calculada com base na malha das peneiras ou, mais precisamente, pela determinação DGM e pelo desvio padrão geométrico (DPG), que podem ser obtidos através do envio de amostras do produto triturado ao laboratório especializado (JUNIOR & MAGRO, 1998).

3.3 GRANULOMETRIA NA QUALIDADE DA MOAGEM E DA RAÇÃO

A recomendação geral de granulometria para a produção de suínos depende de cada fase, sendo 1 μm para a pré-inicial, 1,5 μm para a creche, 2 μm para recria e terminação e 3 μm para reprodução (VON ATZINGEN, 2021).

Contudo, há fatores que ocorrem durante o processo de fabricação de ração que colocam em dúvida a assertividade dos valores de granulometria. Na literatura há um consenso quanto a influência dos passos seguintes à moagem na mudança de granulometria. Para Vukmirović et al. (2017), a granulometria pode ser otimizada na moagem, mas se a produção envolver passos seguintes, como peletização, extrusão e expansão, há mudanças drásticas nos valores.

Wolf et al. (2010) avaliaram a mensuração da estrutura de dietas com moagem prévia, em moinho de martelos, e concluíram que a moagem secundária, ocorrida durante o manuseio da ração e o processo de mistura, somada ao tipo de grão e o modelo de moinho de martelos usado, tiveram influência na granulometria. Para Ball et al. (2015), o cereal moído é afetado em toda a dieta, desde que o restante dos ingredientes estejam micro moídos.

Ao avaliar a granulometria e métodos de secagem do milho para leitões desmamados, Huang et al. (2015) encontraram DGM de 305 μm para milho seco a ar quente, com moagem fina e 428 μm para moagem grossa. A granulometria do milho seco no sol foi 5% maior, para ambas as moagens. Na composição dos aminoácidos,

¹ Fator de conversão de mm para DGM: 1000

os níveis de arginina, isoleucina e prolina foram menores em dietas com milho seco a ar quente, com moagem fina.

Em relação a peletização, Vukmirovic et al. (2017) afirmam que esse processo tem efeito similar à moagem em grãos finos, devido à redução intensiva da granulometria na pressão do pelete. Assim, considerando essa redução da granulometria durante a formação do pelete, grãos grossos são mais usadas na fabricação de ração peletizada.

Aliás, no estudo de Nemechek et al. (2016) foi relatado alta qualidade de pelete, com índice de durabilidade maior que 90% com o uso de grãos grossos, compondo cerca de 80% dos pellets. Contudo, a baixa intensidade da moagem para se obter granulometria maior diminui a estabilidade do pelete e não se justifica a redução do tempo de moagem com o objetivo de economizar o gasto com energia elétrica para rações peletizadas (WOLF et al., 2010).

3.4 GRANULOMETRIA PARA SUÍNOS: DESEMPENHO, DIGESTIBILIDADE, SAÚDE INTESTINAL E ÚLCERA

Os grãos são fonte primária de energia nas rações de suínos e precisam ser moídos antes ou após o processo de mistura (VUKMIROVIC et al., 2017). Desta forma, a granulometria é um dos principais pontos a ser controlado nas fábricas de rações, pois influencia no desempenho dos animais. Também está relacionada com a digestibilidade, com o consumo de energia elétrica e com o rendimento da moagem (ZANOTTO & BELLAVAR, 1996). Segundo Zanotto & Monticelli (1998), o grau de moagem do milho influi no custo de produção da ração, na digestibilidade dos nutrientes, no desempenho animal e nas lesões esofagogástricas dos suínos.

A determinação da granulometria somada à alimentação líquida, adição de enzimas e processamento térmico (peletização, extrusão, descamação a vapor) é uma estratégia para otimizar o uso dos grãos (AL-RABADI et al., 2017). Sua distribuição na dieta, adaptada para as necessidades fisiológicas do animal, permite o melhor uso de nutrientes e o alcance do desempenho animal ideal (VUKMIROVIC et al., 2017).

O tipo de grão, a intensidade da moagem e mistura, além da taxa de difusão da α -amilase no interior dos grãos e da taxa de passagem da digesta pelo estômago

e intestino delgado, são determinantes para a granulometria ideal (AL-RABADI et al., 2017; WOLF et al., 2010).

Geralmente a granulometria varia de acordo com a espécie animal (JUNIOR & MAGRO, 1998). Contudo, estudos apontam que essa medida também deve variar de acordo com o sexo e fase de desenvolvimento, mesmo dentro de uma mesma espécie, de acordo com a evolução da fisiologia digestiva e exigência nutricional no decorrer da vida do animal (HEALY et al., 1994; WONDRA et al., 1998).

Assim, sabe-se que a granulometria, forma física da ração, métodos de processamento do grão antes da moagem e tipo de grão geram diferentes resultados de desempenho para ganho de peso diário (GPD), consumo diário (CD) e conversa alimentar (CA). No estudo de Huang et al. (2015), a dieta com moagem fina aumentou o GPD de 412,3 g para 454,4 g na secagem do milho a ar quente e de 407,8 g para 448,6 g na secagem a sol. O CD também aumentou com moagem fina de 720,5 g para 768,6 g para secagem a ar quente de 705,1 g para 763,2 g para secagem a sol.

Ao estudar o efeito de granulometria em dietas fareladas e peletizadas sobre o desempenho e a digestibilidade em suínos em terminação, Ball et al. (2015) concluíram que GPD e CA foram melhores para dietas com grãos finos em comparação às dietas com grãos grossos (913 g/dia para grossos vs. 932 g/dia para finos; 2,69 para grossos vs. 2,61 para finos, respectivamente).

No estudo de Paulk et al. (2015) sobre os efeitos da redução da granulometria no desempenho, dietas peletizadas com DGM reduzido de 724 para 319 μm melhoraram a eficiência de GPD em 5%. Isso sugere melhora de 1,23% na eficiência de ganho para cada 100 μm reduzidos na granulometria do sorgo.

Os autores também relatam diminuição de CD de 3,13 para 2,82 kg, diminuição de espessura de toucinho de 25,08 para 19,58 mm e aumento de massa magra de 47,77 para 51,12%, além de melhora na conversão alimentar com sorgo reduzido de 800 para 400 μm . Assim, foi estabelecido que a moagem de milho a 600 μm e de sorgo a 800, 600 ou 400 μm , mas a granulometria final foi 555 μm para o milho e 724, 573 e 319 μm , respectivamente, para o sorgo. Os autores não atribuíram essa diferença ao tipo de moinho. Apesar disso, moinhos modernos de rolo e martelo são muito usados em dois estágios ou em multiestágios para diminuir a variação da granulometria e dar maior eficiência à moagem (ROJAS & STEIN, 2015).

Para Wolf et al. (2010), além do modelo de moinho, o tipo de cereal, o processo de mistura (uma espécie de “moagem secundária”) e o tratamento pós mistura têm influência no desvio padrão da granulometria. Os autores encontraram alta proporção

de grãos grossos nas dietas que testaram, o que influenciou o amido no intestino grosso seguido de aumento da produção de ácido bórico e propiônico e menor taxa de passagem pelo trato gastrointestinal.

Bao et al. (2016) avaliaram o efeito da granulometria do trigo sobre o desempenho de suínos e verificaram diminuição do GPD com a redução da granulometria de 680 para 330 μm . Houve maior GPD em suínos alimentados com trigo de 430 a 470 μm e melhor desempenho para suínos em crescimento, no geral.

Em estudo de desempenho de suínos na fase de terminação submetidos a dietas com milho de diferentes granulometrias, Nemecek et al. (2016) encontraram melhora na eficiência da ração com a redução da granulometria em dietas fareladas e sugeriram que a moagem menor que 650 μm para dietas peletizadas não confere benefícios.

Partindo da premissa de que o tipo de grão, granulometria e forma da dieta influenciam a CA de suínos, Al-Rabadi et al. (2017), ao compararem cevada vs. sorgo, encontraram melhores resultados para cevada moída uma vez (1,944 vs. 2,028, respectivamente, ou seja, melhora de 4,14% na CA), remoída (1,918 vs. 2,053, melhora de 6,57%) e peletizada (1,950 vs. 2,022 e melhora de 3,56%). O CD foi maior em suínos alimentados com dieta de sorgo moída uma vez, somente. Porém o GPD foi maior para sorgo remoído e servido na forma farelada em comparação a forma peletizada.

Bellaver & Nones (2000) afirmam que quanto menor a granulometria, maior é o contato com o suco digestivo e maior sua digestão e absorção pelos animais, sendo também a granulometria um indicativo de deslocamento ou avaria nas peneiras dos moinhos.

Alterações na digestibilidade estão mais relacionadas com a superfície de exposição às secreções digestivas do que com o tempo de passagem do bolo alimentar pelo trato gastrointestinal. Isso porque a digestão do amido em suínos é mais eficaz pela maior área de contato para ação da α -amilase, sendo mais provável uma maior exposição de grãos finos (BÜZEN et al., 2008; VUKMIROVIC et al., 2017), cujo acesso ao amido pela α -amilase é mais efetivo do que pelas proteases terem acesso à proteína dietética, talvez pelo amido ser mais envolto por fibra do que proteínas (ROJAS & STEIN, 2015).

Verifica-se na literatura, que as mudanças na granulometria, além de alterarem indicadores de desempenho, modificam a digestibilidade de extrato etéreo (EE), proteína bruta (PB), energia bruta (EB), energia digestível (ED) e energia

metabolizável (EM). Nos resultados de Huang et al. (2015), o percentual de digestibilidade total aparente da EB na moagem fina foi aumentado de 83,60 para 94,12 com secagem a ar quente e de 80,30 para 93,57 com secagem a sol. Também houve aumento para EE de 77,11 para 80,21 para secagem a ar quente e 77,52 para 79,32 para secagem a sol.

Ball et al. (2015) relataram melhora de 3% na digestibilidade da PB em dietas com grânulos finos. Na dieta peletizada de finos, a PB apresentou digestibilidade de 3.690,17 Kcal/kg e a ED foi de 84,4%, enquanto na dieta peletizada de grossos, a digestibilidade da PB foi 3.587,47 Kcal/kg e da ED foi de 80,7%.

Liermann et al. (2015) avaliaram os efeitos da granulometria e de tratamentos hidrotérmicos na ração de suínos em crescimento e concluíram que, de forma geral, a moagem fina e tratamentos hidrotérmicos melhoraram a digestibilidade dos nutrientes brutos para suínos.

Avaliando os efeitos da redução da granulometria do milho na concentração de ED e EM e na digestibilidade da energia para suínos em crescimento, Rojas & Stein (2015) verificaram que a digestibilidade total aparente da EB em todo o trato gastrointestinal (TGI) foi aumentada com a redução da granulometria de 865 para 339 μm . Essa redução também aumentou a concentração de ED da matéria seca (MS) nas dietas e aumentou a concentração de EM em 865 μm de 3.310,40 para 3.432,22 Kcal/kg, respectivamente e em 339 μm de 3.826,31 para 3.964,84 Kcal/kg, respectivamente.

Os resultados de Bao et al. (2016) sobre o efeito da granulometria do trigo na digestibilidade, mostram que a redução de 680 para 330 μm aumentou a digestibilidade aparente do nitrogênio, que foi reduzida com granulometria intermediária de 430 μm e foi similar para granulometrias entre 430 e 470 μm . Esse intervalo proporcionou maior eficiência na digestão e absorção da dieta.

All-Rabadi et al. (2009), estudaram a hipótese de aumento linear da concentração de energia digestível e metabolizável e digestibilidade de aminoácidos, amido, energia bruta e fósforo no milho na medida em que a granulometria é reduzida de 865 para 339 μm . Como resultado, os autores confirmaram aumento da digestibilidade total aparente do TGI de energia bruta e digestível. Da mesma forma, a concentração de energia metabolizável, calculada com base na matéria seca, aumentou de 3.310,4 para 3.432,22 kcal/kg e de 3.826,31 para 3.964,84 kcal/kg respectivamente.

A granulometria pode estar associada à ocorrência de úlceras, já que grãos muito finos fazem os animais consumirem mais água e ração, formando bolos alimentares maiores e mais fluidos, que diminuem a taxa de passagem na digesta e estimulam a secreção de suco gástrico, aumentando a atividade da pepsina (HEDDE et al., 1985).

A úlcera é uma inflamação epitelial que ocorre no quadrilátero esofágico do estômago dos suínos (região aglandular) e promove eventos morfológicos em ordem crescente de agravamento: paraqueratose e/ou hiperqueratose, erosões e ulceração. O conteúdo estomacal de suínos com úlcera é mais fluído, com pH baixo e com maior atividade da pepsina em comparação aos estômagos normais, sendo ideal o pH maior que 4,7, que é encontrado em dietas com granulometria mais grossa, já que as finas apresentam pH menor que 3,4. A doença diminui o GPD, aumenta o CR, piora a CA e pode até causar a morte, o que limita os resultados zootécnicos e econômicos do suinocultor (MORES, 1998).

A úlcera acomete animais em estresse permanente, mas dietas peletizadas e com baixo teor de fibra bruta também favorecem seu aparecimento (JUNIOR & MAGRO, 1998). Além disso, outros fatores colaboram para o avanço da doença, como pré-disposição genética das diferentes linhagens, altos níveis de cobre (250 ppm) usado em promotores de crescimento, regime alimentar (*ad libitum* ou restrição), uso de soro de leite e a granulometria do milho (MORES, 1998).

A respeito da granulometria, grãos finos necessitam de monitoramento de intervalos de granulometria nas rações, enquanto grossos não, devido à baixa influência sobre a enfermidade (WOLF et al., 2010). Mesmo assim, no estudo de Vestergaard et al. (2006), foi observado aumento na frequência de úlceras em porcas, mesmo com as dietas tendo maior proporção de grossos. Porém, no estudo de Ball et al. (2015) não houve níveis preocupantes de queratinização e ulceração, além da peletização com moagem fina não provocar ulceração devido ao intervalo de granulometria com amplitude grande.

Na alimentação com grãos grossos, uma parte do amido não é digerida no duodeno e atinge o ceco, onde a microbiota presente o degrada em ácidos graxos de cadeia curta, que limitam o crescimento de coliformes e *Salmonella* (MAXWELL et al., 1970; REGINA et al., 1999; VISSCHER et al., 2009; KLAUSING, 2011, VUKMIROVIC et al., 2017). Bao et al. (2016) relataram que granulometria do trigo entre 430 e 470 µm aumenta a microflora benéfica no intestino, mas suprime bactérias patogênicas que promoveriam diversidade bacteriana.

Contudo, apesar dos estudos mostrarem prevenção do crescimento de bactérias patogênicas, uma menor digestão pré-cecal do amido afeta negativamente o valor energético da dieta, diminui a eficiência da ração e causa perdas econômicas (CALLAN et al., 2007). Mikkelsen et al. (2004) também mostraram que dietas com grãos grossos proporcionam maior nível de *Lactobacillus* e lactato no estômago, com consequente redução de mortes por *Salmonella*.

Contudo, nem sempre granulometrias maiores ocasionam perdas. No teste de rações ofertadas a suínos em creche, crescimento e porcas em lactação de Wolf et al. (2010) por exemplo, em todas as rações processadas para as fases estudadas, houve alta proporção de grãos grossos mais do que o recomendado (20% maiores que 1 mm e menos de 20% menores que 0,2 mm), o que conduziu parte do amido ao intestino grosso com aumento de ácidos burítico e propiônico e tempo de passagem rápido, resultando em fezes mais fluídas.

Mais do que pela fermentação no intestino grosso, grãos grossos dependem mais do tratamento pós moagem para sua absorção pelos suínos. Sander et al. (2012) avaliaram a influência da moagem fina e grossa de grãos na flora intestinal e encontraram alta proporção de grãos médios no estômago e cólon de suínos alimentados com dietas peletizadas de grãos grossos (503 µm no estômago e 439 µm no cólon) e dietas extrusadas de grãos grossos (675 µm no estômago e 535 µm no cólon).

Os autores ainda constataram que a digesta de dieta farelada formou camadas no estômago pelo alto gradiente de pH entre as regiões pilórica e cárdia, o que não ocorreu nas dietas peletizadas e extrusadas pelo baixo nível de MS em comparação à ração farelada, que costumam ter alto nível de MS pós moagem.

Também foi encontrado alto número de *Lactobacillus* no ceco dos animais alimentados com ração de granulometria maior, fareladas, peletizadas e extrusadas, devido ao substrato disponível no intestino grosso pelo amido não digerido, agindo como um prebiótico. A estrutura da ração, portanto, influenciou na microbiota intestinal de suínos jovens de forma que o alto nível de *Lactobacillus* e baixo nível de enterócitos e coliformes após alimentação com dieta de granulometria grossa pode contribuir com a saúde intestinal devido a maior eficiência da barreira protetora estomacal e ação prebiótica do amido no intestino grosso.

Liermann et al. (2015) relataram forte relação entre desintegração do amido e tratamentos hidrotérmicos, sendo 10,8% de desintegração para ração de grãos grossos sem tratamento hidrotérmico, 7,8% para ração de grãos finos também sem

tratamento hidrotérmico. Taxas maiores de desintegração foram: 21,6% para ração peletizada em ambas as moagens, 32,9% para ração expandida sem peletização com grãos grossos e 40,7% para a mesma ração, mas com grãos finos.

Foi verificado maiores proporções de matéria seca (MS) em suínos alimentados com ração de grãos grossos sem tratamento hidrotérmico e ração expandida sem peletização. As menores proporções foram encontradas em animais que consumiram ração de moagem grossa peletizada, moagem fina sem tratamento hidrotérmico e moagem fina peletizada.

É também reportado na literatura que a granulometria dos grãos pode modificar a morfologia de partes do TGI, como no estudo de Cappai et al. (2015), onde foi hipotetizado que modulações na dieta podem induzir a mudanças morfológicas no término do íleo e na válvula ileocecal. Na válvula, em relação a suas funções de ritmo do fluxo da digesta e de prevenção do refluxo do quimo do ceco para o íleo, denominada contaminação retrógrada. Isto é, o bom desenvolvimento da válvula atuaria de forma preventiva na contaminação por patógenos hospedados no intestino grosso.

Foi considerado que a relação entre forma física da dieta e quimo poderiam induzir adaptação morfológica da válvula ileocecal. Também foi considerado que as populações bacterianas dos intestinos delgado e grosso poderiam se manter pela mudança da morfologia da válvula, que se adaptaria a diferentes estímulos mecânicos e químicos do conteúdo luminal.

Como resultado, os autores afirmam que os animais alimentados com dieta grossa (1 a 2 mm) tiveram estrutura da digesta mais grossa no ceco e a distribuição da granulometria maior nessa região apresentou alta amplitude, sendo mais encontrados grãos maiores que 1 mm (33%) e menores que 0,2 mm (54%).

A dieta de grãos grossos apresentou maior altura das vilosidades enquanto a dieta peletizada apresentou menor altura, o que mostra melhor integridade intestinal e maior absorção de nutrientes dos grãos grossos. O maior número de vilosidades por superfície de mucosa (n/mm^2) encontrado foi 4,99 para dieta com grãos grossos, enquanto para as outras dietas a média da contagem foi 4,23 vilosidades. Isso indica que a dieta de grãos grossos foi mais eficiente para a integridade do ceco, apesar de ter reduzido o tamanho da válvula ileocecal. Ainda sobre a válvula, a dieta de grãos grossos peletizada ou extrusada induziu mudanças morfológicas na espessura do esfíncter.

Assim, mediante os diferentes resultados de estudos a respeito das implicações da granulometria sobre o desempenho, digestibilidade, saúde do TGI e ocorrência de úlceras e à vasta existência de fatores que alteram a granulometria e os resultados esperados no animal, mais importante que recomendações de intervalos de DGM é a criação de um método de precisão da medida dos grânulos, ainda que com baixo desvio padrão (EVANGELISTA et al., 2021).

3.5 GRANULOMETRIA E VIABILIDADE ECONÔMICA NA PRODUÇÃO SUINÍCOLA

Em sua grande maioria, os estudos de viabilidade econômica da suinocultura têm foco em projetos de implantação de biodigestores, geração de biogás, análises de sistemas de produção, requisitos para certificação e de tratamentos de dejetos (ABE e al. 2019; EVANGELISTA & PEREIRA, 2020; KRUGER et al., 2015; MARTINS et al., 2012; WAISMANN, 2002; ZANIN et al., 2009).

Não há estudos na literatura científica sobre viabilidade econômica de soluções tecnológicas que consideram granulometria de rações e, para o setor, que se mostra carente de tecnologias práticas e de baixo custo, são necessárias análises econômicas que ajudem na tomada de decisão na área de alimentação, que consome os maiores custos da produção.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

O presente estudo foi realizado em parceria com a empresa Pluvimax Indústria e Comércio de Componentes Hidráulicos Ltda - departamentos de engenharia e eletrônica, localizada no município de São José do Rio Pardo/SP e apoio da fazenda Santa Maria, localizada no município de Itobi/SP. A empresa conduziu a etapa de desenvolvimento do protótipo e os testes de bancada para validação de funcionamento. A fazenda disponibilizou sua fábrica de ração para coleta de dados e construção do protótipo e também para coleta de amostras de grãos moídos, para validação. A fábrica produz 50 toneladas de grãos moídos por semana destinados ao abastecimento do seu plantel de matrizes e suínos em creche.

O produto proposto se constitui em um mensurador de diâmetro geométrico médio (DGM), com coleta automática de amostras de grãos moídos e geração de resultados de DGM através de programação desenvolvida. É constituído por partes de *hardware* e *software*.

A parte de *hardware* foi constituída por suporte para coleta de amostras de grãos moídos, adaptado ao espaço físico disponível no processo de moagem. O suporte foi fabricado sob encomenda por meio de desenho técnico feito no programa Autodesk Inventor® (Figura 5). Foi obtido por processos de corte e dobra a laser de chapas inox, de tamanhos diversos e com espessura fixa de 3 mm.

Figura 5 - Suporte para coleta de amostras de grãos moídos



Fonte: Autoria própria.

Para determinar as características físicas do suporte, foram feitas mensurações diversas no *layout* do local de funcionamento do moinho na fazenda (Figuras 6 e 7).

Figura 6 - Conjunto moinho de martelos, motor elétrico e tubulações no espaço físico da fábrica, na fazenda Santa Maria, município de Itobi/SP



Fonte: Autoria própria.

Figura 7 - Tubos de saída de grãos moídos do moinho e de transporte para silo de armazenamento, através de rosca helicoidal, no espaço físico da fábrica, na fazenda Santa Maria, município de Itobi/SP



Fonte: Autoria Própria.

Os demais itens de *hardware* que compuseram o suporte foram: microscópio digital, anel de iluminação, leds brancos, cilindro pneumático, compressor de ar, tubo

do microscópio, potenciômetro, válvula solenoide, conjunto esfínter e conjunto de fixadores (Apêndice A).

Todos os itens foram ligados ao suporte principal com o auxílio do conjunto de fixadores e o microscópio foi preso, via pressão manual, em cápsula própria (Figura 8), feita pela junção do anel de iluminação com o tubo do microscópio. Assim, a cápsula foi parafusada ao suporte.

Figura 8 - Cápsula de fixação e microscópio



Fonte: Autoria Própria.

Os leds brancos foram fixados na lateral externa do anel de iluminação, através de encaixe manual. Foram usados quatro leds, cujo nível de luminosidade foi controlado pelo potenciômetro, fixado junto ao cabo USB do microscópio. O material utilizado na fabricação do anel permitiu distribuição homogênea da luz, por possuir estrutura translúcida, fundamental para a qualidade da imagem das amostras, a serem capturadas.

O cilindro pneumático possui duas conexões com uma válvula solenoide, que tem a função de controlar a liberação de ar comprimido do compressor. Uma conexão para avanço da haste do pistão e outra para recuo da mesma. Esse movimento fez a abertura e fechamento do conjunto esfínter, conforme Figura 9.

Figura 9 - Cilindro pneumático instalado junto ao conjunto esfíncter



Fonte: Autoria Própria.

Para a coleta de amostras foi feito um orifício junto ao tubo de saída do material moído do moinho. A instalação do suporte principal foi de tal forma que o conjunto esfíncter ficasse próximo ao orifício, abrindo e fechando de forma controlada a cada momento que fosse necessária a coleta de amostras.

As amostras coletadas, por gravidade, foram levadas à uma superfície acrílica localizada dentro do suporte principal, na área de captura de imagem do microscópio.

Uma vez capturada a imagem, cada amostra foi retirada via pressão de ar. Para isso, foi colocada uma conexão com mais uma válvula solenoide em uma extremidade da superfície acrílica. A válvula controlou a liberação de ar comprimido do compressor. Na outra extremidade, por onde o material é expelido, foi fixado um saco plástico para acondicionamento desse material.

A pressão ajustada no compressor foi maior para o conjunto esfíncter e menor para a superfície acrílica, conforme a força necessária para tais operações, sendo requerida maior força no conjunto esfíncter e menor força na superfície, pelo cuidado com a área de deposição das amostras.

O suporte principal foi fixado no piso próximo ao tubo de saída de grãos moídos do moinho, com o uso do conjunto de fixadores.

O modo de funcionamento do produto seguiu a lógica linear: acionamento, via válvula solenoide, do conjunto esfíncter e coleta amostral; amostra cai sobre a superfície de acrílico; microscópio captura a imagem da amostra e, por fim; amostra lida é expulsa para saco plástico, via pressão de ar. Esse processo ocorreu o número suficiente de vezes para a coleta das amostras avaliadas nesse trabalho.

A parte de *software* do produto foi constituída de programação desenvolvida em linguagem Python capaz de converter em DGM os valores de área de cada grão fotografado pelo microscópio.

Para construção da programação, foi utilizado o ambiente PyCharm Community®, versão 2020.3, e as bibliotecas Scipy®, Matplotlib®, Datetime®, Numpy®, Time®, Imutils® e Open CV®. As leituras das imagens foram feitas e avaliadas através de sistema S.O Raspbian®.

O primeiro cálculo feito pós-captura de imagem foi a área retangular de cada grão. Para isso, foi necessário identificar os valores de altura e largura de cada um, através da contagem do número de pixels. Assim, com a ajuda da régua, foi feita a calibração do microscópio em programa próprio (Cooling Tech®), ajustando o foco e a resolução pela distância da lente do microscópio até a área de leitura. A distância ideal encontrada foi de 146 mm, à qual permitiu capturar todo o material ali depositado, identificando o número de pixels. Verificou-se então a proporção de número de pixels da imagem para cada 01 μm , conforme exemplo de tela abaixo (Figura 10).

Figura 10 - Exemplo de tela do programa Cooling Tech® para identificação da escala número de pixels: μm



Fonte: Cooling Tech.

4.2 TESTE PARA VALIDAÇÃO DE FUNCIONAMENTO

Foram coletadas amostras de grãos moídos no silo pós-moagem. Para isto, foi utilizado equipamento adaptado pela empresa, constituído de tubo PVC (02 cm de diâmetro e 1,5 metros de comprimento) e haste de aço inox com base redonda na ponta, do mesmo diâmetro do tubo PVC. O equipamento foi introduzido em diferentes pontos do silo e em alturas diferentes, até se obter amostra de aproximadamente 1

kg, acondicionada em saco plástico, conforme recomendação de Zanotto & Bellaver (1996). A coleta foi feita em um único dia e o material coletado foi proveniente de um único lote moído, quatro dias anteriores ao procedimento.

Imediatamente pós-coleta, o material foi homogeneizado dentro do próprio saco plástico e direcionado à empresa Pluvimax para análise de DGM e validação de bancada do protótipo desenvolvido.

Para identificar o DGM amostral foi conduzido um experimento com dois tratamentos: T1, para DGM mensurado via análise laboratorial tradicional (ZANOTTO & BELLAYER, 1996), e T2, para DGM mensurado via produto desenvolvido.

Para o T1, foi retirada uma amostra de 160 gramas, que foi enviada a laboratório especializado (Terra Análises para Agropecuária), para cálculo de DGM. Para o T2 foram retiradas 10 subamostras de cerca de 0,5 gramas, com 10 repetições cada, totalizando 500 gramas de material moído e 100 leituras de imagem.

Para o T2, a programação desenvolvida calculou o DGM através da área dos grãos.

Para a captura de imagens das amostras em bancada, foi utilizada apenas a cápsula de fixação do microscópio, em posição invertida, com a área de leitura direcionada para cima, conforme Figura 11:

Figura 11 - Cápsula de fixação do microscópio, em posição invertida, para teste de bancada



Fonte: Autoria Própria.

Cada amostra foi fotografada pelo microscópio e em seguida a programação fez o contorno de todos os grãos fotografados. Após o contorno, fez-se a mensuração da área de cada grão, em μm^2 (micron metro quadrado), assumindo o formato de retângulo para o cálculo, conforme fórmula:

$$\text{Área do retângulo} = \text{largura} \times \text{altura}$$

Foram gerados três arquivos para cada amostra lida: foto em cores, em extensão jpg (Apêndice B), arquivo de texto com os valores de largura, altura e área retangular de todos os grãos, em extensão csv. (Apêndice C) e imagem do contorno, em escala de cinza (Apêndice D).

Considerando que o moinho da fazenda é tipo martelos e possui peneira com malha de 2,8 mm, espera-se que os grãos moídos sejam em formato esférico, ou próximo disso. Assim, para minimizar os erros nos valores de área, a partir dos valores de área retangular, a programação calculou áreas de círculo e elipse, acompanhando os formatos dos grãos lidos, aplicando as fórmulas abaixo:

$$\begin{aligned} \text{Área do círculo} &= \pi \times r^2 \\ \text{Área da elipse} &= \pi \times a \times b \end{aligned}$$

O critério da programação para a escolha de qual forma geométrica usar para cálculo da área de cada grão foi:

- Se a razão entre valor maior e menor de largura e altura for maior que 10%, o formato torna-se retangular alongado, próximo a uma elipse, ou seja, tratar como elipse e calcular a área correspondente, em μm^2 .
- Se a razão entre valor maior e menor de largura e altura for menor que 10%, o formato torna-se redondo, próximo a um círculo, ou seja, tratar como círculo e calcular a área correspondente, em μm^2 .

Para o resultado, em μm , a programação calculou o raio de cada grão (elipse ou círculo), através da fórmula:

$$r = \sqrt{\text{Área} \div \pi}$$

Esse resultado foi multiplicado por 2, para se obter o diâmetro final de cada grão, em μm .

Para a validação do protótipo, foi necessário assegurar que a leitura, geração de arquivos e cálculo estivessem funcionando conforme o esperado pela empresa Pluvimax e que, em comparação ao cálculo tradicional de DGM, os valores encontrados fossem próximos aos calculados em laboratório.

Para a análise estatística utilizou-se o software Statistica (Data Analysis Software System, version 12, StatSoft, Inc., 2014) e os resultados foram submetidos

à comparação múltipla pelos testes de Tukey, Kruskal-Wallis e teste de Fisher, ao nível de 5% de significância.

4.3 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Para a análise de viabilidade econômica, seguiu-se a recomendação de Evangelista et al. (2019), com o uso dos indicadores Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e *payback's* simples e descontado, que se utilizam de passos anteriores, como a estimativa de custos e receitas e a construção de um fluxo de caixa futuro (Apêndice E).

Seguindo a metodologia de Evangelista & Pereira (2020), foram levantados os custos e despesas de construção do mensurador (Apêndice F) e dos demais itens de uma creche de suínos, considerando a fazenda Santa Maria como modelo para testes do estudo. Assim, os demais custos foram: depreciação (Apêndice G), alimentação (Apêndice H), energia elétrica (Apêndice I) e limpeza e desinfecção (Apêndice J).

O fluxo de caixa foi construído para um projeto de 11 anos, onde a receita operacional foi estimada a partir do ano 01 e o investimento no mensurador, depreciação e Fundo de Assistência ao Trabalhador Rural (Funrural²) foram calculados com base em 2020, sem considerar reajustes futuros.

O Imposto de Renda da Pessoa Jurídica (IRPJ) e a Contribuição Social sobre o Lucro líquido (CSLL) incidiram no lucro tributável. No fluxo de caixa, o custo total foi subtraído da receita operacional e gerou o lucro operacional bruto. Deste valor foram descontados a depreciação, o Funrural e a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), expressa pela taxa de juros vigente de 2% ao ano (BACEN, 2020), obtendo assim o lucro tributável. Desse total ainda foram subtraídos o IRPJ e a CSLL e, sob o lucro líquido resultante, foram somados novamente a depreciação, o Funrural e a TMA para obter o resultado do fluxo de caixa.

A subtração de depreciação e impostos é útil para cálculo dos tributos, não representando um gasto efetivamente realizado. A soma desses itens no lucro líquido oferece o saldo real do fluxo de caixa no ano em questão (MEYER & PAIXÃO, 2018).

Ainda com base em Evangelista & Pereira (2020), para a determinação da receita operacional, o preço do kg do suíno vivo pago ao suinocultor pelo mercado no estado de São Paulo foi estimado para 10 anos futuros através da ferramenta planilha

² Taxa de recolhimento obrigatório, equivalente ao INSS. A forma de recolhimento pode ser sobre a folha de pagamento dos salários dos empregados ou sobre o valor das vendas da produção.

de previsão do Microsoft Excel® 2016, que processou uma série histórica mensal de preços médios, adquirida da base de dados do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA). A ferramenta submeteu a série de dados ao método de suavização exponencial na modelagem de previsão *Hold-Winters* e gerou uma projeção futura do preço unitário do kg do suíno vivo com intervalo de confiança de 95%. Desses resultados mensais foram extraídas as médias aritméticas, estimando assim o preço anual futuro do kg do suíno. De posse desses dados, o cálculo das receitas foi feito com base nas informações da fazenda Santa Maria, sendo 24 kg para peso final na saída da creche, 127 animais por lote (já contabilizando mortalidade de 2%) e 48 lotes anuais, conforme abaixo:

$$\text{Receita por suíno} = \text{Preço do Kg vivo} * 24$$

$$\text{Receita por lote} = \text{Receita por suíno} * 127$$

$$\text{Receita anual} = \text{Receita por lote} * 48$$

As estimativas de preços e receitas da produção seguem na Tabela 7.

Tabela 7 - Estimativas de preços e receitas na fase de creche

Anos (Fluxo de Caixa)	Preço (R\$/kg vivo)	Receita (R\$/suíno)	Receita (R\$/lote)	Receita (R\$/ano)
1	6,87	164,78	20.926,90	1.004.491,29
2	7,09	170,25	21.622,29	1.037.870,06
3	7,33	175,86	22.334,53	1.072.057,67
4	7,54	180,98	22.984,88	1.103.274,24
5	7,75	185,91	23.610,38	1.133.298,42
6	7,95	190,72	24.221,66	1.162.639,81
7	8,15	195,67	24.850,17	1.192.808,01
8	8,37	200,78	25.499,50	1.223.975,97
9	8,61	206,75	26.257,14	1.260.342,62
10	8,67	208,08	26.426,16	1.268.455,68

Fonte: Autoria Própria, seguindo Evangelista & Pereira (2020).

O VPL foi calculado seguindo a fórmula de Silva & Fontes (2005):

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j (1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j (1+i)^{-j}$$

onde R_j = valor atual das receitas; C_j = valor atual dos custos; i = taxa de juros; j = período em que as receitas ou os custos ocorrem; e n = número de períodos ou duração do fluxo de caixa

Ainda para o VPL, a TMA nominal foi transformada em TMA real, descontando a inflação de 0,87% (IBGE, 2020), conforme fórmula abaixo, de Meyer & Paixão (2018):

$$TMA\ real = \frac{(1 + taxa\ nominal)}{(1 + inflação) - 1}$$

A TIR foi calculada para todos os períodos (anos) do fluxo de caixa. A TIR é a taxa de desconto que iguala o fluxo de caixa em um momento, tornando-o zerado. A fórmula segue abaixo (KASSAI, 1996):

$$NPV = \frac{FC_0}{(1 + TIR)^0} + \frac{FC_1}{(1 + TIR)^1} + \frac{FC_2}{(1 + TIR)^2} + \frac{FC_3}{(1 + TIR)^3} + \frac{FC_n}{(1 + TIR)^n}$$

onde, onde, FC: é o fluxo de caixa esperado; NPV: é 0.

Para o cálculo do *payback* simples, foram confeccionados fluxos de caixa acumulados e para o *payback* descontado, fluxos de caixa acumulados descontados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 TRATAMENTO T1 – CÁLCULO DE DGM VIA TESTE LABORATORIAL

Seguindo o cálculo de Zanotto & Bellaver (1996), o resultado do teste laboratorial de peneira seca (Anexo A) apontou DGM médio de 808,56 μm . Considerando o diâmetro dos furos da peneira, o intervalo da distribuição de granulometria da amostra variou entre 15 e 2000 μm , sendo os maiores percentuais retidos em peneira de 300 μm (21,03%), 500 μm (47,56%) e 1000 μm (26,24%), conforme Tabela 10.

Tabela 8 – Cálculo de DGM com base em teste laboratorial

Peneiras (mm)	Material retido (g)	fração retida (%)	Fator Ki	Ki * % de fração retida
4	0	0	6	0,00
2	0,32	0,20	5	1,01
1	41,67648	26,24	4	104,98
0,5	75,52222	47,56	3	142,67
0,3	33,39361	21,03	2	42,06
0,15	7,88888	4,97	1	4,97
Fundo	0	0,00	0	0,00
TOTAIS	158,80119	100		295,68

Fonte: Autoria própria.

Com este resultado, o maior número de grãos concentrou-se no intervalo de 500 μm .

5.2 TRATAMENTO T2 – CÁLCULO DE DGM VIA MENSURADOR DESENVOLVIDO

Os resultados de área do retângulo, área no formato esférico (círculo e elipse) e conversão em DGM das 10 amostras testadas seguem nas Tabelas 9 e 10:

Tabela 9 – Áreas retangular e esféricas e de DGM através de programação

Amostra	Área retangular (μm^2) ¹	Área esférica (μm^2) ¹	DGM (μm) ¹
1	705348,7 ± 199179,2 ^b	554375,9 ± 156452,9 ^a	831,8 ± 124,6 ^a
2	686172,4 ± 132088,1 ^b	967479,6 ± 653511,7 ^a	1058,9 ± 350,5 ^a
3	656802,7 ± 135550,9 ^b	1056405,8 ± 966357,5 ^a	1068,2 ± 476,2 ^a
4	832178,6 ± 126170,2 ^{ab}	805974,0 ± 436564,1 ^a	990,4 ± 224,3 ^a
5	829611,0 ± 201867,3 ^{ab}	1330309,8 ± 841729,8 ^a	1243,5 ± 404,7 ^a
6	871733,5 ± 195956,3 ^{ab}	1395176,2 ± 1253180,2 ^a	1228,1 ± 545,7 ^a
7	751670,7 ± 123205,1 ^{ab}	1141036,0 ± 910508,9 ^a	1129,1 ± 444,7 ^a
8	952946,8 ± 116963,0 ^a	1383240,6 ± 1019867,1 ^a	1258,1 ± 445,1 ^a
9	755313,2 ± 143561,0 ^{ab}	730761,7 ± 399539,7 ^a	942,1 ± 218,3 ^a
10	865995,9 ± 138035,6 ^{ab}	680646,9 ± 108561,7 ^a	928,3 ± 74,4 ^a

¹ Valores seguidos pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p \geq 0,05$);
Fonte: Autoria própria.

Tabela 10 – Identificação de área esférica correspondente

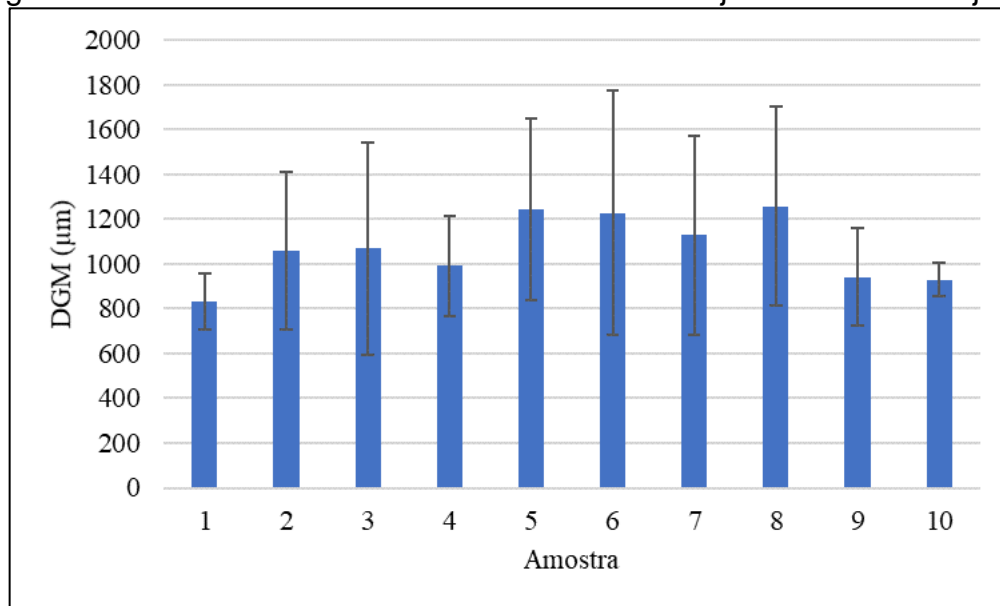
Amostras	Formato de círculo (%) ¹	Formato de elipse (%) ¹
1	10	0 ^a
2	7	3 ^{ab}
3	7	3 ^{ab}
4	9	1 ^{ab}
5	6	4 ^b
6	7	3 ^{ab}
7	7	3 ^{ab}
8	7	3 ^{ab}
9	9	1 ^{ab}
10	10	0 ^a

¹ Valores seguidos pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste exato de Fisher.
Fonte: Autoria própria.

Sobre a forma predominante dos grãos processados, 79% assumiram formato circular enquanto 21% assumiram formato elíptico. Isso está em concordância empírica com o esperado do moinho usado na fábrica teste que, segundo os operadores, deveria moer grãos mais esféricos devido ao formato dos furos das peneiras. O DGM médio da distribuição de granulometria das amostras variou entre $831,8 \pm 124,6 \mu\text{m}$ e $1258,1 \pm 445,1 \mu\text{m}$, sendo essas variações não significativas ($p \geq 0,05$) (Figura 12). Esses resultados de DGM ficaram abaixo de $2800 \mu\text{m}$, o que

está em concordância com a literatura científica, que aponta, além do diâmetro dos furos da peneira, fatores multivariados para a determinação da granulometria, como a área de cobertura da peneira, a potência do motor, o número de martelos e de peneiras, a vazão da moagem, o teor de umidade dos grãos e o desgaste do moinho (MARTIN, 1998).

Figura 12 – DGM médio das amostras de milho e soja moídos em conjunto



Fonte: Autoria própria.

Pela metodologia de cálculo dos tratamentos, a concentração dos grãos moídos foi possível de ser observada apenas no tratamento T1, que apresentou 47,56% do material em 500 µm. Como no tratamento T2 houve leitura de imagem para cada grãos das amostras, a concentração de grãos moídos em determinado DGM não se aplicou.

Esses resultados sugerem que o mensurador desenvolvido proporciona maior detalhamento na identificação dos valores de DGM, já que faz leitura individual de imagem para cada grão, não considerando o critério peso, que é abordado no T1. Ainda sobre o critério peso, em comparação à metodologia do tratamento T2, este se torna pouco preciso, já que uma mesma espécie de grão pode apresentar diferentes densidades devido a fatores como forma de armazenamento, concentração e tipo de nutriente, teor de umidade, teor de grãos ardidos e/ou contaminados com micotoxinas, etc. Como exemplo, o milho pode variar em até 18% sua densidade e o farelo de soja, até 8% (LIMA & NONES, 1997).

Atualmente, o mercado disponibiliza produtos tecnológicos para identificação de DGM. O Granulômetro® (EMBRAPA, 2001) fornece o DGM através de densidade.

Para sua operação é necessário que o operador estude o manual do produto e se atente aos procedimentos, sendo tal solução sujeita a falhas humanas. O cálculo da granulometria também está mais fácil e acessível ao suinocultor, com a oferta de *softwares* no mercado, como o Granucalc®, desenvolvido e lançado pela Embrapa (DALMÉDICO et al., 2013). Este *software* calcula o DGM de grãos moídos e seu funcionamento se baseia na pesagem de amostras e de peneiras, tendo o peso, como fator principal de conversão. Contudo, este último necessita que o operador faça as pesagens e insira os resultados no aplicativo, sendo também dependente da operação humana para a obtenção de dados corretos.

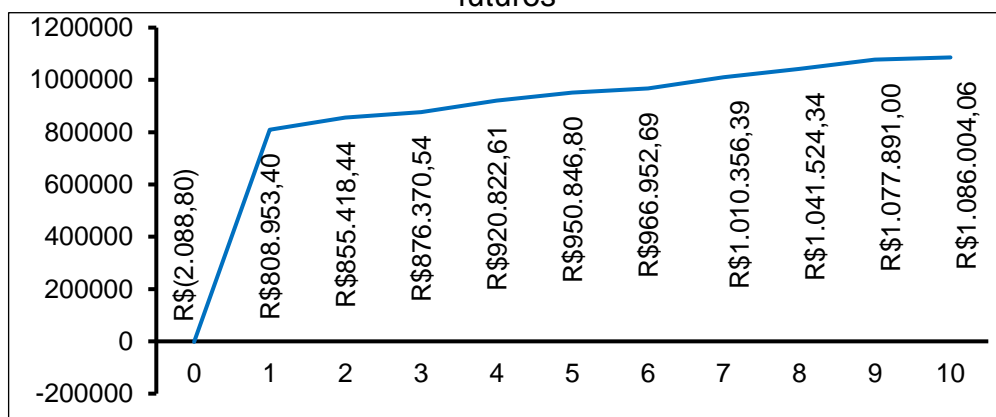
Há também equipamentos modernos que já realizam a pré-seleção de granulometria, desta forma, a Peneira de Farelos® executa a separação de rações fareladas com granulometria acima de 1 mm e o Moinho de Alta Rotação® faz a remoagem de farelos e gera menor granulometria (FERRAZ MÁQUINAS, 2020).

Tais tecnologias apresentam como base de cálculo densidade, peso e seleção de grãos em grossos e finos, além de depender do fator humano para a obtenção correta do DGM. Em contrapartida aos sistemas tecnológicos disponíveis, o mensurador proposto neste trabalho ao invés de utilizar mão-de-obra para manuseio, tem como diferencial o emprego de leitura por imagem, como base de cálculo. Isto torna a ferramenta independente, uma vez que sua programação fornece o DGM de forma automática e precisa.

5.3 VIABILIDADE ECONÔMICA

Os resultados do fluxo de caixa para análise de viabilidade econômica de aquisição do mensurador por suinocultores independentes seguem na Figura 13.

Figura 13 - Fluxo de caixa do mensurador de granulometria, projetado para 10 anos futuros



Fonte: Autoria própria.

O indicador VPL foi positivo para o mensurador, com viabilidade de R\$ 8.570.902,71 para o horizonte de tempo do fluxo de caixa. Isso mostra que o mensurador é de baixo custo e de fácil aquisição pelos interessados, produtores de suínos ou indústrias de máquinas para alimentação animal. Mesmo investimentos maiores, como no estudo de Abe et al. (2019), que avaliaram a implantação de instalações sob normas de bem-estar animal para suínos, o VPL também foi positivo (R\$ 666.432,35). Na mesma tendência, analisando a viabilidade econômica da atividade suinícola em uma propriedade de Santa Catarina, Kruger et al. (2017) encontraram VPL positivo de R\$ 197.972,03.

Nesse estudo, o indicador TIR apresentou viabilidade a taxa de 387,34%. O mesmo foi encontrado por Abe et al. (2019), com TIR a 37%. Kruger et al. (2017) também encontraram viabilidade pela TIR, a taxa de 17,73%.

O *payback* simples foi de menos de 1 mês. O mesmo se aplicou ao *payback* descontado, que considera a taxa de juros ao longo do fluxo. O contrário é encontrado em investimentos maiores, como na implantação de biodigestor, descrito por Zanin et al. (2009), cujo *payback* simples foi de 5 anos e 9 meses e o *payback* descontado de 7 anos e 6 meses.

6 CONCLUSÃO

Baseado na metodologia de leitura individual de imagem dos grãos, o mensurador desenvolvido apresenta intervalo de DGM, como resultado. Portanto, por não gerar uma média simples de DGM, como feito na metodologia laboratorial via densidade, apresenta maior detalhamento no método de cálculo.

A análise econômica confirma a viabilidade de aquisição do produto inédito proposto, sendo de baixo custo e de fácil aquisição por produtores, fábricas de ração comercial ou indústrias de máquinas.

REFERÊNCIAS

- ABE, C.N.M.; DE CASTRO, M.A.; DE CASTRO, G.B.S. Viabilidade Econômica da Implantação de Certificação de Bem estar em Suinocultura. In: VI SIMPOSIO NACIONAL DE TECNOLOGIA EM AGRONEGÓCIO, 2019, Ourinhos. **Anais [...]**. Ourinhos, 2019.
- AL-RABADI, GILBERT, R.G.; GIDLEY, M.J. Effect of particle size on kinetics of starch digestion in milled barley and sorghum grains by porcine alpha-amylase. **J Cereal Science**, n. 50, p. 198-204, 2009.
- AL-RABADI, G.J.; HOSKING, B.J.; TORLEY, P.J.; WILLIAMS, B.A.; BRYDEN, W.L.; NIELSEN, S.G.; BLACK, J.L.; GIDLEY, M.J. Regrinding large particles from milled grains improves growth performance of pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 233, p. 53-63, 2017.
- ANDREASI, D. "**Faça bem Feito ou Não Faça Nada**". Artigos técnicos - administradores.com. 2014. Disponível em: <<https://administradores.com.br/artigos/faca-bem-feito-ou-nao-faca-nada>>. Acesso em: 10/10/2020.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL - BACEN. **Taxa Selic**. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br>>. Acesso em: 10/10/2020.
- BALDISSERA, A.V. **Pontos Críticos no Processo de Fabricação e Peletização para Frangos de Corte**. 2009. Relatório de Estágio Supervisionado (curso de Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.
- BALL, M.E.E.; MAGOWAN, E.; McCracken, K.J.; BEATTIE, V.E.; BRADFORD, R.; THOMPSON, A.; GORDON, F.J. An investigation into the effect of dietary particle size and pelleting of diets for finishing pigs. **Livestock Science**, v. 173, p. 48-54, 2015.
- BAO, Z.; LY, Y.; ZHANG, J.; LI, L.; ZHANG, P.; HUANG, F.R. Effect of particle size of wheat on nutrient digestibility, growth performance, and gut microbiota in growing pigs. **Livestock Science**, v. 183, p. 33-39, 2016.
- BELLAVER, C.; NONES, K. A Importância da Granulometria, da Mistura e da Peletização da Ração Avícola. In: VI SIMPOSIO GOIANO DE AVICULTURA, 2000, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: 2000.
- BIAGI, J.D. Implicações da Granulometria de Ingredientes na Qualidade de Pelletes e na Economia da Produção de Rações (Revisão). In: SIMPÓSIO SOBRE GRANULOMETRIA DE INGREDIENTES E RAÇÕES PARA SUÍNOS E AVES, 1998, Concórdia. **Anais [...]**. Concórdia: 1998. p. 13-25.
- BÜZEN, S.; SALGUEIRO, S.; ALBINO, L.F.T.; ROSTAGNO, H. Recentes Avanços na Nutrição de Suínos. In: SIMPÓSIO BRASIL SUL DE SUINOCULTURA, 2008, Chapecó. **Anais [...]**. Chapecó: 2008.

CALLAN, J.J.; GARRY, B.P.; O'DOHERTY, J.V. The effect of expander processing and screen size on nutrient digestibility, growth performance, selected faecal microbial populations and faecal volatile fatty acid concentrations in grower-finisher pigs. **Animal Feed Science and Technology**, n. 134, p. 223-234, 2007.

CAPPAL, M.G.; ARLINGHAUS, M.; SANDER, S.J.; DIMAURO, C.; PINNA, W.; KAMPHUES, J. Effect of the physical form of the diet on the morphometric traits of terminal ileum and ileocecal valve for potential prevention of small bowel retrograde contamination in the growing pig. **Animal Feed Science and Technology**, v. 210, p. 184-189, 2015.

COMPANHIA LESTE PAULISTA DE ENERGIA - CPFL. Taxas e Tarifas. Disponível em: <<http://servicosonline.cpfl.com.br/agencia-webapp/#.taxas-tarifas?codMunicipio=3549706>>. Acesso em: 15/10/2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Custos-Suínos-2016**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao/planilhas-de-custo-de-producao/item/1932-custos-suinos-2016>>. Acesso em: 11/07/2018.

COSTA, P.T.; Granulometria de Microcomponentes para Rações de Suínos e Aves. In: SIMPÓSIO SOBRE GRANULOMETRIA DE INGREDIENTES E RAÇÕES PARA SUÍNOS E AVES, 1998, Concórdia. **Anais [...]**. Concórdia: 1998. p. 13-25.

DALMEDICO, G.; ZANOTTO, D.L.; KRABBE, E.L.; COLDEBELLA, A. **Granucalc - Manual do usuário**. Documentos n. 159, ISSN: 0101-6245. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, mai. 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Estatísticas**. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas/suinos/brasil>>. Acesso em: 19/11/2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Granulômetro**. Folhetos. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, Perozin Indústria Metalúrgica Ltda, Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2001.

EVANGELISTA, M.Z.; PEREIRA, R. Viabilidade Econômica da Suinocultura no Sistema Wean to Finish em São José do Rio Pardo - SP. **Extensão Rural DEAR - CCR - UFSM**, v. 27, n. 1, p. 42-60, 2020.

EVANGELISTA, M.Z.; ZEFERINO, C.P.; BRENNECKE, K. Recomendações de granulometria para rações de suínos: Revisão. **Pubvet**, v. 15, n. 1, p. 1-8, 2021.

EVANGELISTA, M.Z.; ZEFERINO, C.P.; GERMEK, L. **Guia para Análise Econômica de Empreendimentos Suinícolas**. Boletim Técnico n. 44. Descalvado: Universidade Brasil, 2019.

FERRAZ MÁQUINAS. **Equipamentos**. Disponível em: <<http://www.ferrazmaquinas.com.br/conteudos/equipamentos.html>>. Acesso em: 08/12/2020.

FORMIGONI, A.S.; MARCELO, G.C.; NUNES, A.N. Importância do Programa de Qualidade - "Boas Práticas de Fabricação" (BPF) na Produção de Ração. **Revista**

Eletrônica Nutritime, v. 14, ISSN: 1983-9006, n. 6, p. 8016-8025, nov-dez, 2017.

FUCILLINI, D.G.; VEIGA, C.H.A. Controle da capacidade produtiva de uma fábrica de rações e concentrados: um estudo de caso. **Custos e @gronegocio on line**, v. 10, ISSN: 1808-2882, n. 4, p. 221-240, out-dez, 2014.

HANDERSON, S.M.; PERRY, R.L. *Agricultural Process Engineering*. New York: John Wiley and Sons, 1955.

HEALY, B.J.; HANCOCK, D.J.; KENNEDY, G.A.; BRAMEL-COX, P.J.; BEHNKE, K.C.; HINES, R.H. Optimum particle size on corn and hard and soft sorghum for nursery pigs. **J. Animal Sciences**, v. 72, p. 2227-2236, 1994.

HEDDE, R.D.; LINDSEY, T.C.; PARISH, R.C. Effect of diet particle size and feeding of H2 - receptor antagonists on gastric ulcers in swine. **J. Animal Sciences**, v. 61, p. 179-186, 1985.

HUANG, C.; ZANG, J.; SONG, P.; FAN, P.; CHEN, J.; LIU, D.; HE, P.; MA, X. Effects of particle size and drying methods of corn on growth performance, digestibility and haematological and immunological characteristics of weaned piglets. **Archives of Animal Nutrition**, v. 69, n. 1, p. 30-45, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Inflação**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/explica/inflacao.php>>. Acesso em: 10/10/2020.

JUNIOR, A.M.P.; MAGRO, N. Granulometria de Rações: Aspectos Fisiológicos. In: SIMPÓSIO SOBRE GRANULOMETRIA DE INGREDIENTES E RAÇÕES PARA SUÍNOS E AVES, 1998, Concórdia. **Anais [...]**. Concórdia: 1998. p. 1-12.

KASSAI, J.R. Conciliação entre a TIR e ROI: Uma Abordagem Matemática e Contábil do Retorno do Investimento. In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE CONTABILIDADE, 1996. **Anais [...]**. Fortaleza: 1996.

KLAUSING, H.K. A closer look at feed structure. **All about feed**, p. 18-19, 2011.

KRUGER, S.D.; BACCIN, R.S.; MAZZIONI, S. Análise da viabilidade econômico-financeira da atividade suinícola. In: XXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 2017, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: 2017.

KRUGER, S.D.; SILVA, A.A.R.; BAGATINI, F.M.; PETRI, S.M. Viabilidade Econômico-Financeira do Desenvolvimento da Suinocultura no Sistema de Parceria. In: VI CONGRESSO DE CONTROLADORIA E FINANÇAS, 2015, São Leopoldo. **Anais [...]**. São Leopoldo: UFSC, 2015.

LARA, M.A.M. **Processo de Produção de Ração - Moagem (Parte 1)**. Artigos Técnicos Ergomix, 2010.

LIERMANN, W.; BERK, A.; BÖSCHEN, V.; DÄNICKE, S. Effects of particle size and hydro-thermal treatment of feed on performance and stomach health in fattening pigs. **Archives of Animal Nutrition**, v. 69, n. 6, p. 455-472, 2015.

LIMA, G.J.M.; NONES, K. **Os cuidados com a mistura de rações na propriedade.** Circular Técnica n. 19, 1 ed. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 1997.

MANZKE, N.; PALHARES, J.C.P.; LIMA, J.G.M.M. Nutrição de Precisão e Manejo Alimentar como Formas de Reduzir a Poluição Ambiental dos Resíduos Gerados na Produção de Suínos e Aves. In: PALHARES, J.C.P (org). **Produção Animal e Recursos Hídricos.** 1. ed. cap. 9. São Carlos: Editora Cubo, 2016, p. 133-144.

MARTIN, S. Particle size reduction. In: NFIA - FEED MANUFACTURING SHORT COURSE. Kansas: Kansas State University, 10 p. 1998.

MARTINS, F.M.; SANTOS FILHO, J.I.; TALAMINI, D.J.D. Conjuntura econômica da suinocultura brasileira. In: **Anuário 2019 da Suinocultura Industrial**, v. 6, n. 285. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2018, p. 22-27.

MARTINS, F.M.; SANTOS FILHO, J.I.; SANDI, A.J. **Coefficientes Técnicos para o Cálculo do Custo de Produção de Suínos.** 1. ed., Comunicado Técnico n. 506, ISSN: 0100-8862. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2012.

MAXWELL, C.V.; REIMANN, E.M.; HOEKSTRA, W.G.; KOWALCZYK, T.; BENEVENGA, N.J.; GRUMMER, R.H. Effect of dietary particle size on lesion development and on the contents of various regions of the swine stomach. **J. Animal Sciences**, n. 30, p. 911-922, 1970.

MEYER, L.G.; PAIXÃO, M.A.S. **Instruções Gerais para Elaboração de um Fluxo de Caixa.** 2. ed. Piracicaba: Pecege - ESALQ/USP, 2018.

MIKKELSEN, L.L.; NAUGHTON, P.J.; HEDEMANN, M.S.; JESEN, B.B. Effects of physical properties of feed on microbial ecology and survival of Salmonella enterica serovar Typhimurium in the pig gastrointestinal tract. **Appl. Environ. Microbiol.**, V. 70, p. 3485-3492, 2004.

MORES, N. Influência da Granulometria de Ingredientes de Dietas no Desenvolvimento de Lesões Gástricas em Suínos. In: SIMPÓSIO SOBRE GRANULOMETRIA DE INGREDIENTES E RAÇÕES PARA SUÍNOS E AVES, 1998, Concórdia. **Anais [...]**. Concórdia: 1998. p. 13-25.

NEMECHEK, J.E.; TOKACH, M.D.; DRITZ, S.S.; GOODBAND, R.D.; DeROUCHEY, J.M.; WOODWORTH, J.C. Effects of diet form and corn particle size on growth performance and carcass characteristics of finishing pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 214, p. 136-141, 2016.

OLIVEIRA, P.A.V.; MARTINS, R.R.; LIMA, G.J.M.M de.; FIALHO, F.B. Avaliação de Sistemas de Armazenagem e Equipamentos para a Produção de Rações em Pequenas Propriedades. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1991, Londrina. **Anais [...]**. Londrina: 1991. p. 1589-1602.

OLIVEIRA, R.; DE NOVAIS, A.S.; DE SOUZA, A.C.B.; SALLES, M.A.M.; SANTO, G.F.E.; JUNIOR, D.M.P. Processo de Produção de Ração: Um Estudo de Caso na Ração São Gotardo. In: IX CONVIBRA ADMINISTRAÇÃO - CONGRESSO VIRTUAL BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO. **Anais [...]**. 2012.

PAULK, C.B.; HANCOCK, J.D.; FAHRENHOLZ, A.C.; WILSON, J.M.; MCKINNY, L.J. Effects of sorghum particle size on milling characteristics and growth performance in finishing pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 202, p. 75-80, 2015.

PELLEGRINI, D.C.P. Fatores de Risco a Contaminação por Salmonela ao longo da Cadeia de Produção de Rações de Suínos. In: VI SIMPOSIO INTERNACIONAL DE SUINOCULTURA - SINSUI, 2011, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: 2011. p. 35-42.

POZZA, P.C.; POZZA, M.S.S.; RICHART, S.; OLIVEIRA, F.G.; GASPAROTTO, E.S.; SCHLICKMANN, F. Avaliação da moagem e granulometria do milho e consumo de energia no processamento em moinhos de martelos. **Ciência Rural**, ISSN: 0103-8478, v. 35, n. 1, p. 235-238, jan-fev, 2005.

REGINA, D.C.; EISEMANN, J.H.; LANG, J.A.; ARGENZIO, R.A. Changes in gastric contents in pigs fed a finely ground and pelleted or coarsely ground meal diet. **Journal of Animal Science**, n. 77, p. 2721-2729, 1999.

ROJAS, O.J.; STEIN, H.H. Effects of reducing the particle size of corn grain on the concentration of digestible and metabolizable energy and on the digestibility of energy and nutrients in corn grain fed to growing pigs. **Livestock Science**, v. 181, p. 187-193, 2015.

SANDER, S.J.; BULLERMANN, J.; ARLINGHAUS, M.; VERSPOHL, J.; KAMPHUES, J. The influence of grinding intensity and compaction of diets on the microbial community in the gastrointestinal tract of young pigs. **Journal of Animal Science**, v. 90, p. 16-18, 2012.

SILVA, M.L.; FONTES, A.A. Discussão sobre os Critérios de Avaliação Econômica: Valor Presente Líquido (VPL), Valor Anual Equivalente (VAE) e Valor Esperado da Terra (VET). **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 931-936, 2005.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL - SINDIRAÇÕES. **Alimentação Animal**. Disponível em: <<http://sindiracoes.org.br/categorias/mapa>>. Acesso em: setembro de 2020.

SZWARCFITER, C.; DALCOL, P.R. Economias de Escala e de Escopo: Desmistificando alguns Aspectos da Transição. **Revista Produção**, v. 17, n. 2, p. 117-129, 1997.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL - UFRGS. **Moagem**. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/alimentus1/feira/prcerea/matinal/basemoag.htm>>. Acesso em: 10/10/2020.

VESTERGAARD, K.; BAEKBO, P.; SVENSMARK, B. Sow mortality na causes for culling of sowa in Danish pigs herds. In: 19º IPVS CONGRESS, 2006, Denmark. **Anais [...]**. Denmark: 2006. p. 255.

VISSCHER, C.F.; WINTER, P.; VERSPOHL, J.; STRATMANN-SELKE, J.; UPMANN, M.; BEYERBACH, M.; KAMPHUES, J. Effects of feed particle size at dietary presence of added organic acids on caecal parameters and the prevalence of

Salmonella in fattening pigs on farm and slaughter. **J. Anim. Physiol. Anim.**, n. 93, p. 423-430, 2009.

VON ATZINGEN, E. **Produção das Rações na Granja**. Informativo Técnico nº 84. Goiânia: S.O.S Suínos, 2021.

VUKMIROVIĆ, D.; COLOVIC, R.; RAKITA, S.; BRLEX, T.; DURAGIC, O.; SOLAORIOL, D. Importance of feed structure (particle size) and feed form (mash vs. pellets) in pig nutrition – A review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 233, p. 133-144, 2017.

WAISMANN, M. **Estudo da Viabilidade Econômica do Reaproveitamento de Resíduos Orgânicos via Suinocultura**. 2002. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) - Centro de Estudos e Pesquisa em Agronegócios, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

WOLF, P.; RUST, P.; KAMPHUES, J. How to assess particle size distribution in diets for pigs? **Livestock Science**, v. 133, p. 78-80, 2010.

WONDRA, K.J.; HANCOCK, J.D.; BEHNKE, K.C.; HINES, R.H.; STARK, C.R. Effects of particle size and pelleting on growth performance, nutrient digestibility and stomach morphology in finishing pigs. **J. Animal Sciences**, n. 73, p. 757-763, 1998.

ZANIN, A.; BAGATINI, F.M.; PESSATTO, C.B. Viabilidade Econômico-Financeira de Implantação de Biodigestor - Alternativa para Reduzir os Impactos Ambientais Causados pela Suinocultura. In: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 2009, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: 2009.

ZANOTTO, D.L.; BELLAVER, C. **Método de Determinação da Granulometria de Ingredientes para Uso em Rações de Suínos e Aves**. Comunicado Técnico n. 215, p. 1-5, ISSN: 0100-8862. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 1996.

ZANOTTO, D.L.; MONTICELLI, C.J. Granulometria do Milho em Rações para Suínos e Aves: Digestibilidade de Nutrientes e Desempenho Animal. In: SIMPÓSIO SOBRE GRANULOMETRIA DE INGREDIENTES E RAÇÕES PARA SUÍNOS E AVES, 1998, Concórdia. **Anais [...]**. Concórdia: 1998.

ZANOTTO, D.L.; NICOLAIEWSKY, S.; FERREIRA, A.S.; GUIDONI, A.L.; LIMA, G.J.M.M. Granulometria do Milho na Digestibilidade das Dietas para Suínos em Crescimento e Terminação. **Revista Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 24, n. 3, p. 428-436, 1995.

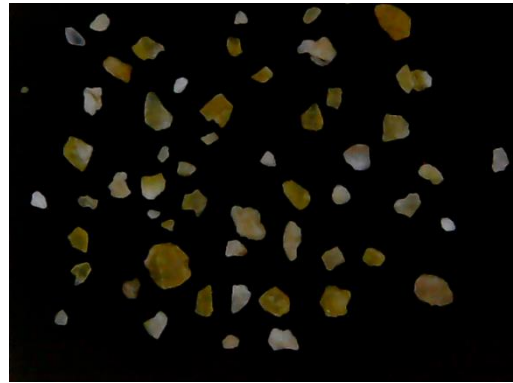
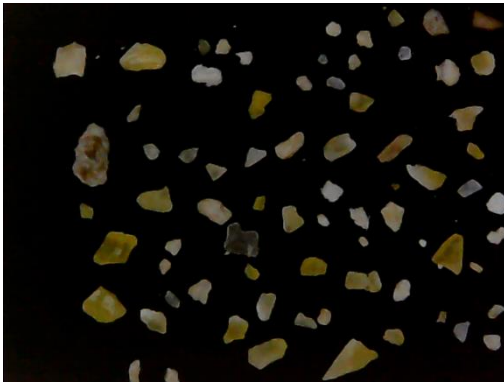
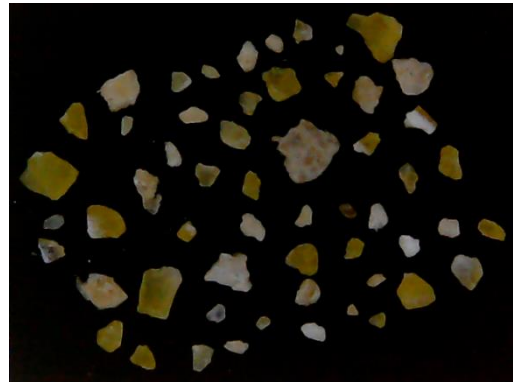
ZHENG CHANG. **Produtos pra ração de suínos**. Disponível em: <<http://www.zhengchang.com.br/categoria-produto/maquina-racao-leitoes>>. Acesso em: 10/10/2020.

APÊNDICE A – Itens de *hardware* do suporte para coleta de amostras e suas características técnicas.

Item	Características
<p>Microscópio digital</p> 	<p>Peça adquirida no mercado, da marca Cooling Tech®. Pode ser conectado a computadores, notebooks e celulares por entrada USB. É constituído de suporte de fixação e regulação manual, conjunto de leds ao redor da lente, regulador de foco e 01 cabo USB, com 02 saídas.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Faixa de ajuste de foco: 0 a 40 mm, com ajuste manual; - Zoom: 0 a 1600x, com ajuste manual; - Brilho: 600 LUX, com ajuste manual; - Captura de imagem: 640 x 480; - USB compatível: 3.0, 2.0, 1.1; - Dimensão: 10,12 cm (largura) x 3,3 cm (diâmetro) <p>Acompanha CD ROOM com driver para instalação de software próprio de medição (versão 4.5), que possui configurações gerais de calibração de foco, funções de tirar fotos e fazer vídeos, além de outras.</p>
<p>Réguas do microscópio</p> 	<p>Acompanha o microscópio e é útil para escala e referência de calibração.</p>
<p>Anel de iluminação</p> 	<p>Peça fabricada sob encomenda por meio de desenho técnico feito no programa Autodesk Inventor®. A peça foi feita por usinagem de tarugo de plástico industrial (poliacetal), na cor branca. Tem formato tubular, com diâmetros de 5,9 cm externo e 4,0 cm interno, altura de 4,9 cm e espessura de 0,95 cm.</p>
<p>Leds brancos</p> 	<p>Peças adquiridas no mercado, redondas e de tamanho padrão, na cor branca e voltagem de 5v.</p>

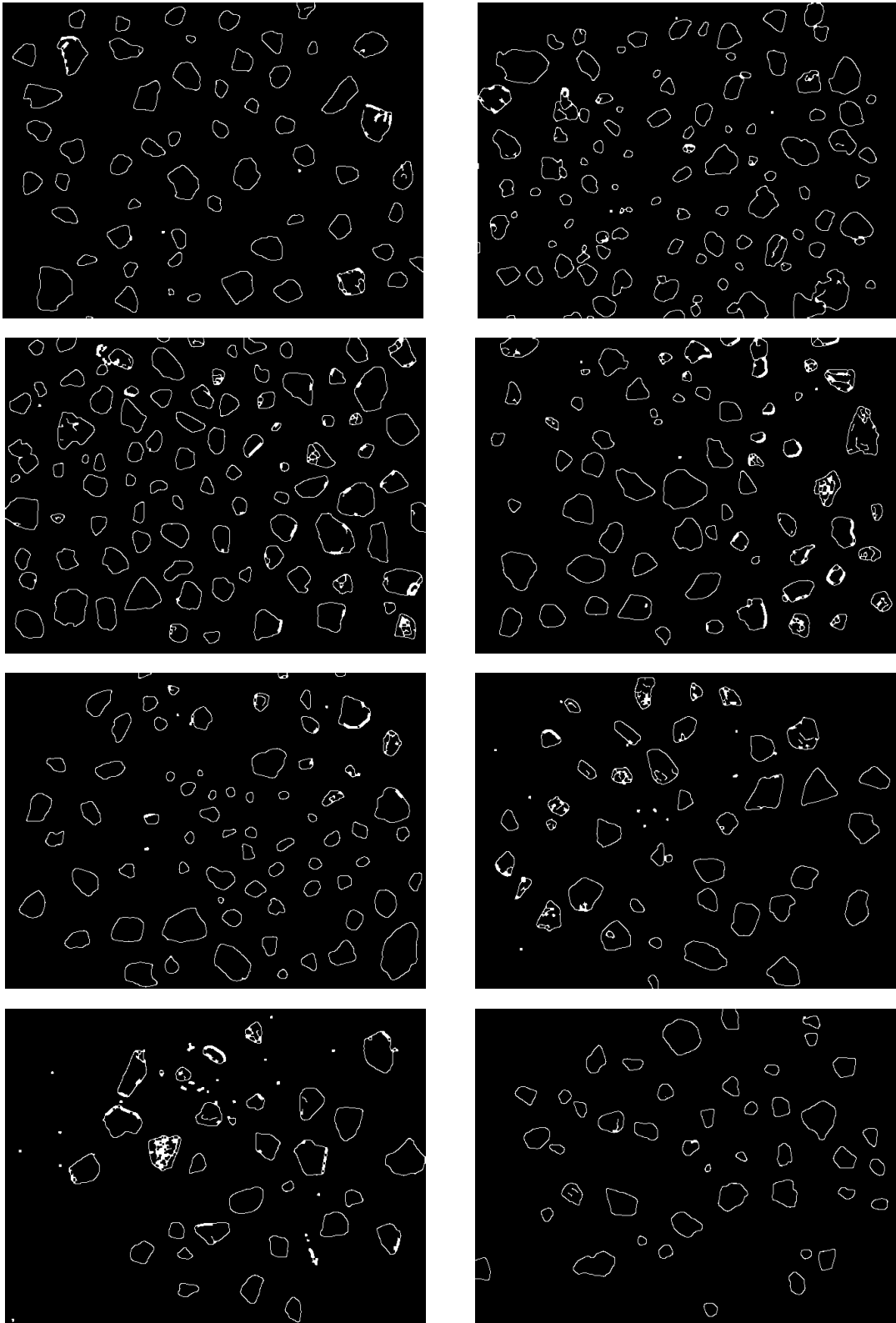
<p>Cilindro pneumático</p> 	<p>Peça adquirida no mercado, da marca MetalWork Pneumatic®, tem a função de produzir força, em movimento linear, através de gás comprimido.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de amortecimento: dupla ação; - Diâmetro: 63 mm; - Material: alumínio; - Código original: 121 3 32 0020 CP.
<p>Compressor de ar</p> 	<p>Peça elétrica adquirida no mercado, da marca Tekna®, modelo CP8525C, monofásico.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Voltagem: 220v; - Frequência: 60Hz; - Potência do motor: 2hp; - Capacidade do tanque: 24 litros; - Pressão máxima: 8 bar; - Número de cilindros: 1. <p>Acompanha manômetro duplo e rodas, para locomoção.</p>
<p>Tudo do microscópio</p> 	<p>Peça fabricada através de serragem de tubo de pvc na cor preta, adquirido no mercado. O tubo possui diâmetros de 4,00 cm externo e 3,3 cm interno, com espessura de 3 mm. Foi serrado em 14 cm de comprimento.</p>
<p>Potenciômetro</p> 	<p>Peça adquirida no mercado, da marca Alpha®, tem a função de controlar a resistência elétrica através de controle manual.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 10 K
<p>Válvula Solenóide</p> 	<p>Peça tipo eletroválvula pneumática adquirida no mercado, da marca KFF Automação®, modelo 4V410, 5/2 vias.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fluido: ar comprimido - Retorno: por mola - Vazão: 780 L/min - Rosca de entrada: 1/2 BSP - Escapes: 1/2 BSP - Pressão máxima de entrada: 10 Bar - Pressão de trabalho: 1,5 a 8,0 Bar - Temperatura de trabalho: - 5 a 60°C - Material: alumínio (corpo); plástico (bobina e conector elétrico) - Vedação: Buna-N

<p>Conjunto Esfincter</p> 	<p>Constituído de chapa circular, 03 alavancas, bucha e fixadores.</p> <p>A chapa e as alavancas foram fabricadas em aço inox sob encomenda por meio de desenho técnico feito no programa Autodesk Inventor®.</p> <p>A bucha foi feita por usinagem de tarugo de latão.</p> <p>Todas as peças foram fixadas umas as outras por fixadores (parafusos, arruelas e porcas, adquiridos no mercado).</p>
<p>Conjunto de fixadores</p> 	<p>Constituído de ferragens previamente zincadas adquiridas no mercado. Os parafusos foram sextavados de 6 mm x 30 mm, rosca inteira. As porcas também foram sextavadas de 6 mm, com trava e, as arruelas lisas, de 6 mm.</p>

APÊNDICE B – Fotos parciais das amostras feitas pelo microscópio

APÊNDICE C – Arquivo parcial de texto com largura (μm), altura (μm) e área retangular dos grãos, em μm^2

	A	B	C	D	E
1	1081,1346,1455026,				
2	1444,1444,2085136,				
3	846,2136,1807056,				
4	982,840,824880,				
5	1462,1352,1976624,				
6	662,634,419708,				
7	579,634,367086,				
8	548,509,278932,				
9	563,839,472357,				
10	828,690,571320,				
11	898,1464,1314672,				
12	1021,1103,1126163,				
13	547,1064,582008,				
14	990,1526,1510740,				
15	1195,785,938075,				
16	883,690,609270,				
17	651,750,488250,				
18	1013,1107,1121391,				
19	883,800,706400,				
20	389,512,199168,				
21	1007,698,702886,				
22	1469,1399,2055131,				
23	1352,1021,1380392,				
		totalizador_Areas_Normalizadas			

APÊNDICE D – Imagens parciais do contorno dos grãos em escala de cinza

APÊNDICE E – Fluxo de caixa projetado, valores em reais

Anos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Período	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Investimento	2.088,80										
(+) Receita		1.004.491,29	1.037.870,06	1.072.057,67	1.103.274,24	1.133.298,42	1.162.639,81	1.192.808,01	1.223.975,97	1.260.342,62	1.268.455,68
Custos Variáveis		195.537,88	182.451,63	195.687,13	182.451,63	182.451,63	195.687,13	182.451,63	182.451,63	182.451,63	182.451,63
Licenciamento Ambiental		12.850,00	-	12.850,00	-	-	12.850,00	-	-	-	-
Alimentação		10.143,00	10.287,90	10.287,90	10.287,90	10.287,90	10.287,90	10.287,90	10.287,90	10.287,90	10.287,90
Mão de Obra		28.688,86	28.688,86	28.688,86	28.688,86	28.688,86	28.688,86	28.688,86	28.688,86	28.688,86	28.688,86
Fretes		426,00	426,00	426,00	426,00	426,00	426,00	426,00	426,00	426,00	426,00
Energia Elétrica		2.075,64	2.075,64	2.075,64	2.075,64	2.075,64	2.075,64	2.075,64	2.075,64	2.075,64	2.075,64
Limpeza e Desinfecção		133.230,00	133.230,00	133.230,00	133.230,00	133.230,00	133.230,00	133.230,00	133.230,00	133.230,00	133.230,00
FGTS		2.429,10	2.429,10	2.429,10	2.429,10	2.429,10	2.429,10	2.429,10	2.429,10	2.429,10	2.429,10
Eventuais (3%)		5.695,28	5.314,13	5.699,63	5.314,13	5.314,13	5.699,63	5.314,13	5.314,13	5.314,13	5.314,13
(-) CUSTO TOTAL		195.537,88	182.451,63	195.687,13	182.451,63	182.451,63	195.687,13	182.451,63	182.451,63	182.451,63	182.451,63
(=) Lucro Operacional Bruto		808.953,40	855.418,44	876.370,54	920.822,61	950.846,80	966.952,69	1.010.356,39	1.041.524,34	1.077.891,00	1.086.004,06
(-) Depreciação		300,24	300,24	300,24	300,24	300,24	300,24	300,24	300,24	300,24	300,24
(-) FUNRURAL (1,7%)		17.076,35	17.643,79	18.224,98	18.755,66	19.266,07	19.764,88	20.277,74	20.807,59	21.425,82	21.563,75
(-) TMA (taxa de juros - 2%)		16.179,07	17.108,37	17.527,41	18.416,45	19.016,94	19.339,05	20.207,13	20.830,49	21.557,82	21.720,08
(=) Lucro Tributável		775.397,74	820.366,04	840.317,91	883.350,26	912.263,55	927.548,52	969.571,28	999.586,02	1.034.607,11	1.042.419,99
(-) IRPJ / CSLL		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(=) Lucro Líquido		775.397,74	820.366,04	840.317,91	883.350,26	912.263,55	927.548,52	969.571,28	999.586,02	1.034.607,11	1.042.419,99
(+) Depreciação		300,24	300,24	300,24	300,24	300,24	300,24	300,24	300,24	300,24	300,24
(+) FUNRURAL		17.076,35	17.643,79	18.224,98	18.755,66	19.266,07	19.764,88	20.277,74	20.807,59	21.425,82	21.563,75
(-) TMA (taxa de juros - 2%)		16.179,07	17.108,37	17.527,41	18.416,45	19.016,94	19.339,05	20.207,13	20.830,49	21.557,82	21.720,08
(=) FLUXO DE CAIXA	- 2.088,80	808.953,40	855.418,44	876.370,54	920.822,61	950.846,80	966.952,69	1.010.356,39	1.041.524,34	1.077.891,00	1.086.004,06

APÊNDICE F – Custos de matérias-primas do mensurador de granulometria

Produtos	Quant.	Preço (R\$)	IPI (%)	Total (R\$)
Suporte de coleta de amostras	1	500,00	5	525,00
Anel de iluminação	1	15,00	0	15,00
Leds brancos	4	0,50	0	2,00
Cilindro pneumático	1	250,00	0	250,00
Compressor de ar	1	675,00	0	675,00
Tudo do microscópio	1	15,00	0	15,00
Potenciômetro	1	1,80	0	1,80
Válvula Solenóide	2	230,00	0	460,00
Conjunto Esfincter	1	25,00	0	25,00
Conjunto de fixadores	1	27,00	0	27,00
Microscópio Digital	1	93,00	0	93,00
TOTAL				2.088,80

APÊNDICE G – Cálculos da depreciação

Produtos	Quant.	Total (R\$)	Vida útil (anos)	Valor residual (R\$)	Depreciação (R\$/ano)
Suporte de coleta de amostras	1	525,00	20	26,25	24,94
Anel de iluminação	1	15,00	2	7,50	3,75
Leds brancos	4	2,00	2	1,00	0,50
Cilindro pneumático	1	250,00	4	62,50	46,88
Compressor de ar	1	675,00	5	135,00	108,00
Tudo do microscópio	1	15,00	2	7,50	3,75
Potenciômetro	1	1,80	2	0,90	0,45
Válvula Solenóide	2	460,00	4	115,00	86,25
Conjunto Esfincter	1	25,00	16	1,56	1,54
Conjunto de fixadores	1	27,00	2	13,50	6,75
Microscópio Digital	1	93,00	4	23,25	17,44
TOTAL					300,24

APÊNDICE H – Custos com alimentação na fase de creche

Consumo diário da granja (kg/suíno)	1,024
-------------------------------------	-------

Número de suínos por lote	127
Consumo diário (kg)/lote	130,05
Custo da ração (R\$/kg)	1,8570
Custo com alimentação (R\$/lote)	241,50

Número de lotes por ano	48
Consumo diário (kg)/ano	6.242,40
Custo da ração (R\$/kg)	1,6248*
Custo com alimentação (R\$/ano)	10.143,00

* Menor custo devido à economia de escala, quando o aumento do volume da produção de um bem por período reduz os seus custos fixos e, portanto, o custo total (SZWARCFITER & DALCOL, 1997).

APÊNDICE I – Cálculo da despesa com energia elétrica

Preço do MW/h* (R\$)	253,92**
Conversão em Kw/h	0,25
Custo do Kw/h (R\$)	0,25

Variáveis	Lote	Ano
Número de Leitões	130	6240
Consumo de energia (Kw) ***	170,30	8.174,40
Despesa com energia (R\$)	43,24	2.075,64

* Megawatt-hora.

** Adquirido na tabela de tarifas para zona rural do município de Itobi/SP (CPFL, 2020).

*** Considerando consumo de 1,31 Kw por leitão, conforme recomendado por Martins et al. (2012).

APÊNDICE J – Cálculo de custos com limpeza e desinfecção

Produtos	Unidade	Preço Unit.
Desinfetante (galão com 3,785 litros)	galão	R\$ 138,00
Detergente (galão com 5 litros)	galão	R\$ 95,00

Aplicação nos galpões (ml/m ²)	300	
m ² estimado	1000	

Variáveis	Lote	Ano
Aplicação nos galpões (ml)	300.000,00	2.400.000,00
Galões de desinfetante necessários	80	635
Galões de detergente necessários	60	480
Custo total com desinfetante (R\$)	11.040,00	87.630,00
Custo total com detergente (R\$)	5.700,00	45.600,00

ANEXO A – Resultado do teste laboratorial via peneira seca

 TERRA ANÁLISES PARA AGROPECUÁRIA	TERRA ANÁLISES PARA AGROPECUÁRIA LTDA. GOIÂNIA - GO: AV. CARIRI, 140 - J. DIAMANTINA - CEP 74.573-130 FONES: (62) 3210-1862 / 3210-1173 site: www.laboratorioterra.com.br e-mail: terra@laboratorioterra.com.br
--	---

Nome : MARIANE ZABOTTO EVANGELISTA	
Propriedade :	
Cidade :	Data Entrada : 06/04/2021
Cultura :	Data Saída : 13/04/2021
Solicitante :	
Material : Nutrição Animal	

Resultado de Análise

Código : SAL 421156	Código :	Código :
Amostra : MILHO E SOJA MOIDOS	Amostra :	Amostra :

Pas. 4,00 mm	%	100.0
Ret. 4,00 mm	%	0.0
Pas. 2,00 mm	%	99.8
Ret. 2,00 mm	%	0.2
Pas. 1,00 mm	%	73.9
Ret. 1,00 mm	%	26.1
Pas. 0,50 mm	%	36.0
Ret. 0,50 mm	%	64.0
Pas. 0,3mm	%	23.2
Ret. 0,3mm	%	76.8
Pas. 0,15 mm	%	13.2
Ret. 0,15 mm	%	86.8

Emerson M Rocha
 Emerson Macedo Rocha
 Terra Análises p/ Agropecuária
 CREA-GO 20935/D - Responsável Técnico

Metodologia aplicada para as análises: *FERTILIZANTES E CORRETIVOS: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos 2017. *NUTRIÇÃO ANIMAL: Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal 2017. *SOLO: Manual de Métodos de Análise de Solo Embrapa Solos 2017. *TECIDO VEGETAL: MALAVOLTA, E., VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações 1997.