

RESSALVA

Atendendo solicitação da autora,
o texto completo desta tese será
disponibilizado somente a partir
de 07/03/2026



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de São José do Rio Preto

Renata Laurito Garcia

**Cultivo do fungo *Lentinula edodes* com reaproveitamento do substrato
cultivado para alimentação de bovinos**

São José do Rio Preto
2024

Renata Laurito Garcia

**Cultivo do fungo *Lentinula edodes* com reaproveitamento do substrato
cultivado para alimentação de bovinos**

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Engenharia e Ciência de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Alimentos, Nutrição e Engenharia, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Financiadora: CAPES
(Proc. 88882.434425/2019-01)

Orientador: Prof. Dr. João Cláudio Thoméo
Co-orientador: Prof. Dr. Ricardo Andrade Reis

São José do Rio Preto
2024

G216c Garcia, Renata Laurito
Cultivo do fungo Lentinula edodes com reaproveitamento do substrato
cultivado para alimentação de bovinos / Renata Laurito Garcia. -- São José do
Rio Preto, 2024
137 f.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de
Biotecnologia, São José do Rio Preto
Orientador: João Cláudio Thoméo
Coorientador: Ricardo Andrade Reis

1. Shiitake. 2. Resíduos agrícolas. 3. Bovinos Alimentação e rações. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista
(UNESP), Instituto de Biotecnologia, São José do Rio Preto. Dados fornecidos pelo
autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Renata Laurito Garcia

**Cultivo do fungo *Lentinula edodes* com reaproveitamento do substrato
cultivado para alimentação de bovinos**

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Engenharia e Ciência de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Alimentos, Nutrição e Engenharia de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Financiadora: CAPES
(Proc. 88882.434425/2019-01)

Comissão Examinadora

Prof. Dr. João Cláudio Thoméo
UNESP – Câmpus de São José do Rio Preto
Orientador

Profa. Dra. Clarissa Hamaio Okino
UFSCar – São Carlos

Profa. Dra. Cristiane Sanchez Farinas
UFSCar – São Carlos

Profa. Dra. Elisa Helena Giglio Ponsano
UNESP – Câmpus de Araçatuba

Profa. Dra. Marília Gonçalves Cattelan
UNESP – Câmpus de São José do Rio Preto

São José do Rio Preto
7 de março de 2024

Agradecimentos

A Deus, por estar sempre presente em minha vida, guiando meus passos e iluminando meus caminhos;

Ao Prof. Dr. João Cláudio Thoméo, que me orienta desde meu projeto de iniciação científica, ao longo de 11 anos. Obrigada por toda dedicação e ensinamentos, por me orientar e apoiar ao longo desses anos. Obrigada também por sua amizade e por ser um exemplo profissional e pessoal para todos que cruzam seu caminho.

À minha mãe e ao meu irmão, por todo amor, cuidado e companheirismo e por estarem sempre junto a mim, me auxiliando e apoiando. Obrigada por tudo que sempre fizeram e continuam fazendo por mim.

Ao Deli, que esteve ao meu lado durante a escrita dessa tese. Obrigada por todo amor e companheirismo.

Ao Prof. Dr. Ricardo Andrade Reis, co-orientador desta tese. Obrigada por todos os ensinamentos acerca da nutrição animal, por seu empenho e dedicação em contribuir com meu aprendizado e com esta tese.

Ao Prof. Dr. Fabrício Bruno Mendes, pelo auxílio na elaboração da análise econômica presente neste trabalho.

Aos amigos do Laboratório de Engenharia de Processos e Biorreatores: Lucas, Isabela, Isac, Érika e Daiane, obrigada pela companhia e pelo compartilhamento de conhecimento e experiências.

Aos membros desta banca, Profa. Dra. Clarissa Hamaio Okino, Profa. Dra. Cristiane Sanchez Farina, Profa. Dra. Elisa Helena Giglio Ponsano e Profa. Dra. Marília Gonçalves Cattelan, por aceitarem o convite para participação e contribuírem com seus conhecimentos para o enriquecimento desta tese.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, à qual agradeço pelo incentivo financeiro durante os quatro anos de realização desta tese (Proc. 88882.434425/2019-01).

RESUMO

A alimentação bovina é uma atividade que sofre influência de diversos fatores, sendo a principal a disponibilidade sazonal de pastagens e forragens, o que impulsiona a busca por novas fontes de alimento. Resíduos sólidos agroindustriais podem ser aplicados na alimentação de ruminantes, mas seu aproveitamento pelos animais é reduzido pela presença de grande quantidade de lignina nestes materiais. O cultivo de cogumelos comestíveis emprega resíduos agroindustriais como substrato para o seu cultivo. Os resíduos sofrem alterações em sua estrutura devido à ação enzimática, liberando cadeias de celulose e hemicelulose que podem ser consumidas por ruminantes. Dessa forma, este trabalho teórico propõe a integração entre as atividades de cultivo de cogumelos comestíveis e alimentação de bovinos, a partir da aplicação do composto cultivado pelo cogumelo, na alimentação bovina. A partir de dados disponíveis na literatura, foram selecionados os meios de cultivo resíduo de cervejaria (RC), palha de arroz (PA), casca de café (CC), casca de soja (CS) e caroço de algodão (CA), os quais atenderiam simultaneamente os requisitos nutricionais dos cogumelos e dos animais, sendo o fungo *Lentinula edodes* (Shiitake) selecionado para este estudo. Estes meios foram avaliados quanto a sua composição antes e após o cultivo, sendo que a composição após o cultivo foi considerada em relação a sua adequação para alimentação de bovinos, calculando-se sua digestibilidade e quantidade de nutrientes disponíveis aos animais. O substrato que melhor se adequou às exigências nutricionais bovinas foi composto por RC:PA:CA na proporção 2:2:1 (b.s.). Este meio apresentou redução de quase 30% no teor de lignina após o cultivo por Shiitake. Para o estudo de integração, foram considerados bovinos de peso inicial 400 e peso final 600 kg, sendo necessários 11,85 kg/dia de substrato cultivado para satisfazer todas as exigências de consumo de matéria seca, teor proteico e energia metabolizável do animal, estimando-se a digestibilidade deste substrato em 68,70%, com ganho de peso de 1,5 kg/dia. Tendo como base de cálculo 100 animais, foi projetada uma biofábrica de produção de Shiitake para operar em ciclos semanais que resultariam na produção de 8,3 t de material cultivado por semana. Para que o fornecimento semanal de composto seja possível, foi necessário adaptar o processo tradicional de cultivo, separando-se as fases de

miceliação e frutificação em salas independentes. A avaliação econômica estimou valores de R\$ 3.427.851,50 e R\$ 690.940,50 para as despesas de capital (CAPEX) e despesas operacionais (OPEX) e os indicadores econômicos obtidos foram compatíveis com empreendimentos de biotecnologia. O preço de venda do composto cultivado ao criador de ruminantes foi estimado em R\$ 3,77 próximo àqueles encontrados no mercado de alimentação de bovinos, enquanto o cogumelo deverá ser vendido a, no mínimo, R\$ 11,40/kg. Por satisfazer todas as exigências nutricionais bovinas sem a necessidade de suplementação ou combinação com outras fontes de alimento, o composto proposto neste projeto apresenta vantagem em relação às rações de menor preço encontradas no mercado, além de contribuir com a sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: Shiitake. Alimentação bovina. Resíduos agroindustriais.

ABSTRACT

Cattle feeding is an activity that is influenced by several factors, the main one being the seasonal availability of pasture and forage, which drives the search for new food sources. Agro-industrial solid waste can be used to feed ruminants, but their use by animals is reduced by the presence of a large amount of lignin in these materials. The cultivation of edible mushrooms uses agro-industrial residues as a substrate for their cultivation. The residues undergo changes in their structure due to enzymatic action, releasing cellulose and hemicellulose chains that can be consumed by ruminants. Therefore, this theoretical work proposes the integration between the activities of cultivating edible mushrooms and feeding cattle, based on the application of the compound cultivated by the mushroom, in cattle feeding. Based on data available in the literature, the cultivation media of brewery residue (RC), rice straw (PA), coffee husk (CC), soy husk (CS) and cottonseed (CA) were selected. which would simultaneously meet the nutritional requirements of mushrooms and animals, with the fungus *Lentinula edodes* (Shiitake) being selected for this study. These media were evaluated for their composition before and after cultivation, and the composition after cultivation was considered in relation to their suitability for feeding cattle, calculating their digestibility and quantity of nutrients available to the animals. The substrate that best suited bovine nutritional requirements was composed of RC:PA:CA in a 2:2:1 ratio (b.s.). This medium showed a reduction of almost 30% in lignin content after cultivation with Shiitake. For the integration study, cattle with an initial weight of 400 and a final weight of 600 kg were considered, requiring 11.85 kg/day of cultivated substrate to satisfy all the animal's dry matter consumption requirements, protein content and metabolizable energy, estimating The digestibility of this substrate was 68.70%, with a weight gain of 1.5 kg/day. Using 100 animals as a calculation basis, a Shiitake production biofactory was designed to operate in weekly cycles that would result in the production of 8.3 tons of cultivated material per week. In order for the weekly supply of compost to be possible, it was necessary to adapt the traditional cultivation process, separating the myceliation and fruiting phases in independent rooms. The economic evaluation estimated values of R\$3,427,851.50 and R\$690,940.50 for capital expenses (CAPEX) and operational expenses (OPEX) and the economic

indicators obtained were compatible with biotechnology ventures. The selling price of the cultivated compost to ruminant farmers was estimated at R\$3.77, close to those found in the cattle feed market, while the mushroom should be sold at at least R\$11.40/kg. By satisfying all bovine nutritional requirements without the need for supplementation or combination with other food sources, the compound proposed in this project has an advantage over lower-priced feed found on the market, in addition to contributing to environmental sustainability.

Keywords: Shiitake. Cattle feed. Agro-industrial wastes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Produção mundial de carne bovina durante o ano de 2021.....	22
Figura 2.2 - Produção mundial de leite bovino durante o ano de 2021.....	22
Figura 2.3 - Produção mundial de carne e leite bovinos entre 2011 e 2021.....	23
Figura 2.4 - Objetivos de Desenvolvido Sustentável lançados pela ONU.....	28
Figura 2.5 - Estrutura lignocelulósica da parede vegetal.....	32
Figura 2.6 - Estrutura esquemática do material lignocelulósico antes e depois de pré-tratamento.....	34
Figura 2.7 - Produção mundial de cogumelos e trufas entre os anos de 2011 e 2021.....	39
Figura 2.8 - Cogumelo Shiitake.....	42
Figura 3.1 - Cereja do café.....	69
Figura 4.1 - Processo padrão de produção comercial de cogumelos comestíveis.....	108
Figura 4.2 - Fluxograma do processo operacional da biofábrica.....	116
Figura 4.3 - Balanço de massa do processo de operação semanal da biofábrica de produção Shiitake com envio do substrato cultivado para alimentação de bovinos.....	119
Figura 4.4 - Integração entre as atividades de cultivo do Shiitake e alimentação de ruminantes em C1 (a) e em C2 (b).....	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Composição bromatológica de forrageiras tropicais em diferentes idades e porcentagem de matéria seca.....	24
Tabela 2.2 - Composição bromatológica de silagens em porcentagem de matéria seca.....	25
Tabela 2.3 - Variação da composição química da silagem de girassol quando comparada com o material antes da ensilagem.....	26
Tabela 2.4 - Caracterização da fração lignocelulósica dos principais resíduos oriundos das culturas do milho, trigo, arroz, soja, café e algodão.....	33
Tabela 2.5 - Maiores produtores mundiais de cogumelos durante o ano de 2021.....	40
Tabela 3.1 - Caracterização química dos resíduos considerados para cultivo do Shiitake (b.u.).....	65
Tabela 3.2 - Caracterização química dos resíduos considerados para cultivo do Shiitake (valores em porcentagem).....	74
Tabela 3.3 - Proporção de resíduos agroindustriais nos substratos propostos (b.s.).....	75
Tabela 3.4 - Composição química dos substratos propostos (b.s.).....	76
Tabela 3.5 - Composição dos substratos selecionados após o cultivo por Shiitake.....	78
Tabela 3.6 - Exigências nutricionais para bovinos criados a pasto, com peso inicial de 400 kg e ganho diário de 1,5 kg.....	80
Tabela 3.7 - Digestibilidade do meio antes e após o cultivo por Shiitake.....	82
Tabela 3.8 - Necessidade de substrato para satisfazer as exigências nutricionais de bovinos.....	82
Tabela 4.1 - Exigências nutricionais para bovinos com peso inicial de 400 kg e ganho diário de 1,5 kg.....	110
Tabela 4.2 - Caracterização centesimal do substrato após cultivo pelo Shiitake.....	111
Tabela 4.3 - Quantidade de composto cultivado por Shiitake necessária para alimentação dos bovinos.....	111
Tabela 4.4 - Composição centesimal dos resíduos empregados para preparo do substrato e do composto cultivado (b.u.).....	113

Tabela 4.5 - Quantidade de resíduo necessária para operação semanal da biofábrica.....	114
Tabela 4.6 - Relação de equipamento necessários para funcionamento da biofábrica nas condições planejadas.....	120
Tabela 4.7 - Relação de funcionários necessários para operação de biofábrica.....	121
Tabela 4.8 - Custo dos equipamentos necessários para operação da biofábrica.....	124
Tabela 4.9 - Despesas de capital (CAPEX) e operacionais (OPEX) para instalação e funcionamento da biofábrica.....	124
Tabela 4.10 - Indicadores econômicos para instalação e operação da biofábrica de Shiitake operando em processo integrado com a alimentação de ruminantes.....	126
Tabela 4.11 - Análise de sensibilidade para os indicadores econômicos em função preço de venda do composto cultivado por Shiitake.....	126

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO, JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS.....	16
1.1. Introdução e justificativa.....	16
1.2. Objetivos.....	18
1.2.1. Objetivos gerais.....	18
1.2.2. Objetivos específicos.....	19
REFERÊNCIAS.....	20
 CAPÍTULO 2. REVISÃO DA LITERATURA.....	 21
2.1. Nutrição de Bovinos.....	21
2.2. Processos Sustentáveis.....	27
2.3. Resíduos Agroindustriais na Alimentação Animal.....	29
2.4. Materiais Lignocelulósicos na Alimentação de Ruminantes.....	35
2.5. Pré-tratamento Biológico de Resíduos Agroindustriais.....	37
2.6. Cogumelos Comestíveis.....	38
2.7. Conclusão.....	43
REFERÊNCIAS.....	45
 CAPÍTULO 3. CULTIVO DE <i>Lentinula edodes</i> EM RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS E APLICAÇÃO DO COMPOSTO CULTIVADO NA ALIMENTAÇÃO DE BOVINOS.....	 58
3.1. Introdução.....	58
3.2. Material e Métodos.....	60
3.2.1. Seleção de resíduos sólidos para cultivo de cogumelos e alimentação de bovinos.....	60
3.2.2. Formulação do substrato.....	61
3.2.3. Avaliação das alterações no substrato durante o cultivo...	62
3.2.4. Avaliação da alimentação bovina.....	62
3.2.5. Quantificação da necessidade de composto cultivado.....	63
3.3. Resultados e Discussão.....	64
3.3.1. Caracterização dos resíduos sólidos.....	64
3.3.2. Formulação do substrato.....	73

3.3.3. Avaliação do potencial de aplicação dos substratos na alimentação de bovinos.....	80
3.3.4. Quantificação da necessidade de composto cultivado.....	82
3.4. Conclusão.....	84
REFERÊNCIAS.....	85

CAPÍTULO 4. PROJEÇÃO DE BIOFÁBRICA DE PRODUÇÃO DE SHIITAKE OPERANDO EM PROCESSO INTEGRADO COM A ALIMENTAÇÃO DE BOVINOS.....104

4.1. Introdução.....	104
4.2. Material e Métodos.....	106
4.2.1. Instalação da biofábrica.....	106
4.2.2. Obtenção dos resíduos agroindustriais pela biofábrica.....	107
4.2.3. Fluxograma do processo de produção de Shiitake.....	108
4.2.4. Integração das atividades.....	109
4.2.5. Avaliação econômica.....	109
4.3. Resultados e Discussão.....	109
4.3.1. Projeto da biofábrica.....	109
4.3.2. Instalação da biofábrica.....	111
4.3.3. Obtenção dos materiais necessários à operação da biofábrica.....	114
4.3.4. Planejamento e dimensionamento da biofábrica.....	115
4.3.5. Integração das atividades.....	121
4.3.6. Análise de custos.....	123
4.3.7. Indicadores econômicos.....	125
4.4. Conclusão.....	127
REFERÊNCIAS.....	129

CAPÍTULO 5. CONCLUSÃO GERAL.....135

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO, JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS

1.1. Introdução e justificativa

A alimentação animal é um setor que movimenta diversas atividades e alcançou aproximadamente 1,3 bilhão de toneladas de ração produzidas no mundo durante o ano de 2022, de acordo com a Forbes (FORBES, 2023). Os principais produtores foram China, Estados Unidos, Brasil e México, com produção aproximada de 261, 240, 82 e 40 milhões de toneladas, respectivamente, totalizando metade da produção mundial em 2022. Dentre as diversas espécies de animais criadas mundialmente, os bovinos são responsáveis pelo consumo de grande parte da alimentação produzida, tendo em vista a grande quantidade de animais e o grande volume de alimento fornecido a cada animal.

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2024) cerca de 30 milhões de cabeças de gado foram abatidas no Brasil em 2023, quase 3% mais quando comparado com o ano anterior. Dados da *Food and Agriculture Organization* das Nações Unidas (FAOSTAT, 2016) mostram que a pecuária é a maior usuária mundial de recursos naturais, consumindo cerca de 60% da biomassa global e usufruindo de cerca de 80% da área destinada à produção agrícola, considerando-se as áreas destinadas à pastagem e à produção de grãos para alimentação do rebanho.

Contudo, a alimentação dos animais é um processo que passa por diversas dificuldades, como a influência de condições ambientais, que podem levar à escassez de materiais, fazendo com que os produtores recorram a materiais de baixa qualidade nutricional para a alimentação dos animais, além de questões geopolíticas, como conflitos armados, que resultam em queda na oferta de itens de alimentação animal. Esta realidade impulsiona a busca por diferentes fontes nutricionais e novos métodos de preparo e fornecimento do alimento.

Na criação de bovinos de corte, o sistema é dividido em três fases: cria, recria e terminação, sendo esta última, a fase de engorda. A fase de cria perdura até o desmame, enquanto a de recria compreende o período entre o desmame e a engorda. Durante a etapa de recria, a alimentação se dá por pastagens e

durante a etapa de terminação, o sistema de confinamento pode ser empregado. Esse sistema fornece inúmeras vantagens aos animais, estando em expansão no Brasil. Porém, até os dias atuais, predomina no Brasil a terminação a pasto, devido aos elevados custos envolvidos no confinamento. Além da fase de terminação, o confinamento também é utilizado durante períodos de inverno, quando a quantidade e qualidade das pastagens são reduzidas (FONTANA *et al.*, 2018; SENAR, 2018;)

De acordo com Yafetto *et al.* (2023), os alimentos empregados no cuidado dos animais durante o confinamento incluem compostos formulados, forragens e misturas de resíduos agroindustriais. Os resíduos agroindustriais vêm sendo cada vez mais empregados no processo de alimentação animal, como consequência da busca por novas fontes de alimento e da quantidade cada vez maior de resíduos gerados pela agroindústria.

De acordo com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA, 2023), os resíduos gerados pela atividade agroindustrial correspondem a 1/3 da produção da respectiva atividade. Em 2013, a quantidade destes resíduos totalizou 1,3 bilhão de toneladas e uma perda estimada em € 800 bilhões; já em 2017, esta quantidade alcançou 9 bilhões de toneladas, com a qual o Brasil colaborou com 521 milhões de toneladas (FAO, 2013; KASA *et al.*, 2018; EPE, 2019).

Juntamente com os nutrientes, estão presentes nos resíduos agroindustriais diversos compostos com propriedades antinutricionais, os quais acabam por reduzir a disponibilidade e a absorção dos nutrientes disponíveis. Dessa forma, torna-se necessária a realização de processos de pré-tratamento destes resíduos antes de serem fornecidos como alimentação aos bovinos, dentre os quais encontram-se procedimentos químicos, físicos e biológicos. Os processos químicos e físicos despendem mais custos e mão de obra, enquanto os biológicos são sustentáveis, envolvem menores custos e apresentam resultados positivos, sendo os mais promissores atualmente.

No cultivo de cogumelos comestíveis, a quantidade de resíduo gerada pode alcançar de 3 a 5 vezes a massa de cogumelos colhidos, totalizando até 205 milhões de toneladas de resíduos gerados na China e 60 mil toneladas no Brasil (LAN *et al.*, 2019; CEURSTEMONT, 2020). No entanto, os substratos

colonizados pelos fungos sofrem alterações químicas e físicas ao longo do cultivo que os tornam de interesse para o setor de alimentação animal.

Neste sentido, este trabalho objetiva avaliar as principais características e necessidades da alimentação bovina para encontrar novas fontes de alimentação a partir de resíduos agroindustriais cultivados por cogumelos. Deste modo, espera-se, encontrar alternativas capazes de suprir as necessidades nutricionais dos animais e que contribuam para a sustentabilidade deste setor, reduzindo o acúmulo de resíduos no ambiente e agregando valor à atividade agroindustrial.

Este trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos. O primeiro capítulo é destinado à introdução, justificativa e objetivos. O segundo, destina-se à revisão da literatura acerca da nutrição bovina, da estrutura lignocelulósica de materiais vegetais e do cultivo de cogumelos comestíveis. No terceiro capítulo, foi realizado o estudo sobre a integração proposta para ambas atividades, a partir de uma caracterização de diferentes resíduos agroindustriais e proposta de composição de substratos a partir dos resíduos estudados. Para cada substrato, foi realizada a caracterização centesimal antes e após o cultivo pelo Shiitake, a caracterização e quantificação de alterações ocorridas durante o desenvolvimento do fungo e a avaliação da qualidade nutricional do material após o cultivo para a alimentação bovina. Todas as avaliações e cálculos que compõem este capítulo foram realizadas a partir de dados publicados na literatura. O quarto capítulo apresenta a avaliação econômica para implantação do projeto proposto, enquanto o quinto reúne o esquema completo de integração proposto ao longo dos capítulos anteriores e apresenta as principais conclusões do trabalho.

REFERÊNCIAS

ALENGEBAWY, A.; MOHAMED, B. A.; RAN, Y.; YANG, Y.; PEZZUOLO, A.; SAMER, M.; AI, P. A comparative environmental life cycle assessment of rice straw-based bioenergy projects in China. **Environmental Research**, v. 212, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113404>

ARORA, D. S.; SHARMA, R. K. Enhancement in *in vitro* digestibility of wheat straw obtained from different geographical regions during solid state fermentation by white rot fungi. **BioResources**, v. 4, n. 3, p. 909-920, 2009. <http://dx.doi.org/10.15376/biores.4.3.909-920>

ATILA, F. Compositional changes in lignocellulosic content of some agro-wastes during the production cycle of Shiitake mushroom. **Scientia Horticulturae**, v. 245, p. 263-268, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.029>

AZZOUZ, A.; HAYYAN, M. Techno-economic feasibility analysis: The missing piece in the puzzle of deep eutectic solvents. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 39, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2023.e00795>

BAASEL, W. D. **Preliminary Chemical Engineering Plant Design**. 2nd edition. Van Nostrand Reinhold. New York. 1990. 572p.

BEM-HAMED, U.; SEDDIGHI, H.; THOMAS, K. Economic returns of using brewer's spent grain in animal feed. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, v. 50, p. 695-698, 2011.

BIANCO, A.; FANCELLO, F.; GARAU, M.; DEROMA, M.; ATZORI, A. S.; CASTALDI, P.; ZARA, G.; BUDRONI, M. N. Microbial and chemical dynamics of brewer's spent grain during a low-input pre-vermicomposting treatment. **Science of the Total Environment**, v. 802, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149792>

BR-CORTE: Tabela Brasileira de Exigências Nutricionais / Editores: FILHO, S. C. V. *et al* – 3ª ed. – Viçosa (MG): UFV, DZO, 2016.

BULLER, L. S.; SGANZERLA, W. G.; LIMA, M. N.; MUENCHOW, K. E.; TIMKO, M. T.; FORSTER-CARNEIRO, T. Ultrasonic pretreatment of brewers' spent grains for anaerobic digestion: Biogas production for a sustainable industrial development. **Journal of Cleaner Production**, v. 355, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131802>

COGUMELOS MAZZEI, Informação pessoal. 2024.

CHANG, S. T.; WASSER, S. P. The cultivation and environmental impact of mushrooms. **Environmental Science**, 2017. <https://doi.org/10.1093/ACREFORE%2F9780199389414.013.231>

CHEN, Z. *et al.* Effects of fermentation with different microbial species on the umami taste of Shiitake mushroom (*Lentinus edodes*). **LWT**, v. 141, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110889>

FACCENDA, A. *et al.* Performance and milk composition of Holstein cows fed with dried malt bagasse and selenium-enriched *Saccharomyces cerevisiae*. **Livestock Science**, v. 238, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104081>

FAULDS, C. B.; COLLINS, S.; ROBERTSON, J. A.; TREIMO, J.; EIJSINK, V. G. H.; HINZ, S. W. A.; SCHOLS, H. A.; BUCHERT, J.; WLADRON, K. W. Protease-induced solubilization of carbohydrates from brewer's spent grain. **Journal of Cereal Science**, v. 50, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.01.004>

FONTANA, D. C.; JUNGES, A. H.; BREMM, C.; SCHAPARINI, L. P.; MENGUE, V. P.; WAGNER, A. P. L.; CARVALHO, P. NDVI and meteorological data as indicators of the Pampa biome natural grasslands growth. **Irrigation and Agrometeorology**, v. 77, p. 404-414, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.2017222>

GARCIA, R. L. **Produção de alimentação para cães com incorporação de resíduos do cogumelo *Agaricus bisporus***, 2019, 61 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto – SP, 2019.

GOUVÊA, V. N.; BIEHL, M. V.; ANDRADE, T. S.; JUNIOR, M. V. C. F.; FERREIRA, E. M.; POLIZEL, D. M.; ANTONELO, D. S.; BRIDI, A. M.; OWENS, F. N.; PIRES, A. V. Effects of soybean oil or various levels of whole cottonseed on growth performance, carcass traits and meat quality offfinishing bulls.

Livestock Science, v. 232, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.103934>

GUARDA, E. C.; OLIVEIRA, A. C.; ANTUNES, S.; FREITAS, F.; CASTRO, P. M. L.; DUQUE, A. F.; REIS, M. A. M. A two-stage process for conversion of brewer's spent grain into volatile fatty acids through acidogenic fermentation.

Applied Sciences, v. 11, n. 7, 2021. <https://doi.org/10.3390/app11073222>

HE, Y.; KUHN, D. D.; O'KEEFE, S. F.; OGEJO, J. A.; FRAGUAS, C. F.; WANG, H.; HUANG, H. Protein production from brewer's spent grain via wet fractionation: process optimization and techno-economic analysis. **Food and Bioproducts Processing**, v. 126, 2021.

<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.01.005>

HUANG, W. B.; YUAN, H. R.; LI, X. J. Multi-perspective analyses of rice straw modification by *Pleorotus ostreatus* and effects on biomethane production.

Bioresource Technology, v. 296, 2020.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122365>

JACOMETTI, G. A. *et al.* The physicochemical properties of fibrous residues from the agro industry. **LWT – Food Science and Technology**, v. 62, n. 1, p. 138-143, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.01.044>

LAWRENCE, T. L.; FOWLER, V. R. (1997) Growth of farm animals. CAB International, Wallingford, 330.

LIN, Y.; GE, X.; LIU, Z.; LI, Y. Integration of Shiitake cultivation and solid-state anaerobic digestion for utilization of wood biomass. **Bioresource Technology**, v. 182, p. 128-135, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.102>

LOUIS, A. C. F.; VENKATACHALAM, S.; GUPTA, S. Innovative strategy for rice straw valorization into nanocellulose and nanohemicellulose and its application. **Industrial Crops & Products**, v. 179, 2022.

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114695>

LYNCH, M. D. The bioprocess ATE calculator: An online technoeconomic analysis tool to evaluate the commercial competitiveness of potential bioprocess. **Metabolic Engineering**, v. 65, p. 42-51, 2021.

<https://doi.org/10.1016/j.ymben.2021.03.004>

MARQUES, R. S. **Efeitos da variação dos níveis de forragem em dietas contendo grãos de milho inteiro e os benefícios da floculação na terminação de tourinhos Nelore**, 2011, 72 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba – SP, 2015.

MASSARDI, M. M.; MASSINI, R. M. M.; SILVA, D. J. Caracterização química do bagaço de malte e avaliação do seu potencial para obtenção de produtos de valor agrgado. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 6, n. 1, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2019.06.005>

MENDES, F. B. **Avaliação técnico-econômica da produção de enzimas celulolíticas por fermentação em estado sólido**, 2015, 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto – SP, 2015.

MORETTI, D. B.; JIMENEZ, C. R.; TRINCA, H. M.; MACHADO-NETO, R.; LOUVANDINI, H. Effect of maternal cottonseed feed on the immune and antioxidant status of Santa Ines lambs. **Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases**, v. 62, 2019.

<https://doi.org/10.1016/j.cimid.2018.11.005>

NATIONAL ACADEMICS OF SCIENCES, ENGINEERING AND MEDICINE, NASEM, 2016. Nutrient requirements of beef cattle. 8th Rev. ed. The National Academics Press, Washington, DC. <https://doi.org/10.17226/19014>

PALUCCI, J. A.; MOREIRA, G. C. Viabilidade econômica de uma biofábrica para controle da cigarrinha das raízes em usina de açúcar e álcool. **Revista IPecege**, v. 1, n. 3/4, p. 58-74, 2015.

PERIPOLLI, V. *et al.* Nutritional value of baled rice straw for ruminant feed.

Revista Brasileira de Zootecnia, 2016. <https://10.1590/S1806-92902016000700006>

PINHEIRO, T.; COELHO, E.; ROMANÍ, A.; DOMINGUES, L. Intensifying ethanol production from brewer's spent grain waste: Use of whole slurry at high solid loadings. **New Biotechnology**, v. 53, p. 1-8, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2019.06.005>

QIN, F.; JOHANSEN, A. Z.; MUSSATTO, S. I. Evaluation of different pretreatment strategies for protein extraction from brewer's spent grains. **Industrial Crops and Products**, v. 125, p. 443-453, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.09.017>

ROWE, G. E.; MARGARITIS, A. Bioprocess design and economic analysis for the commercial production of environmentally friendly bioinsecticides from *Bacillus thuringiensis* HD-1 kurstaki. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 86, n. 4, p. 377-388, 2004. <https://doi.org/10.1002/bit.20146>

SANCHES, M. A. R.; AUGUSTO, P. E.D.; POLACHINI, T. C.; TELIS-ROMERO, J. Water sorption properties of brewer's spent grain: A study aimed at its stabilization for further conversion into value-added products. **Biomass and Bioenergy**, v. 170, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2023.106718>

SANTOS, R. N. *et al.* Physicochemical composition of the milk and cheese yield of sheep supplemented with concentrate based on corn grain or whole cottonseed. **Small Ruminant Research**, v. 227, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2023.107085>

SHOAIB, A. M.; EL-ADLY, R. A.; HASSANEAN, M. H. M.; YOUSSEF, A.; BHRAN, A. A. Developing a free-fall reactor for rice straw fast pyrolysis to produce bio-products. **Egyptian Journal of Petroleum**, v. 27, p. 1305-1311, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.08.002>

TSUNATU, D. Y.; ATIKU, K. G.; SAMUEL, T. T.; HAMIDU, B. I.; DAHUTU, D. I. Production of bioethanol from rice straw using yeast extracts peptone dextrose. **Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH)**, v. 36, n. 1, p. 296-301, 2017. <http://dx.doi.org/10.4314/njt.v36i1.33>

VICENTE, I. V. **Produção de esporos de *Metarhizium anisoplae* IBCB 425 em resíduos agroindustriais por cultivo em estado sólido**, 2021, 141 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Unesp, Campus de São José do Rio Preto – SP, 2021.

WANG, Z.; WINESTRAND, S.; GILLGREN, T.; JONSSON, L. J. Chemical and structural factors influencing enzymatic saccharification of wood from aspen, birch and spruce. **Biomassa e Bioenergia**, v. 109, p. 125-134, 2018.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.12.020>

WEI, P.; LI, Y.; LAI, D.; GENG, L.; LIU, C.; ZHANG, J.; SHU, C.; LIU, R. *Protaetia brevitarsis* larvae can feed on and convert spent mushroom substrate from *Auricularia auricula* and *Lentinula edodes* cultivation. **Waste Management**, v. 114, p. 234-239, 2020.

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.009>

WEST, J. W. *et al.* Intake, milk yield and digestion by dairy cows fed diets with increasing fiber content from bermudagrass hay or silage. **Journal of Dairy Science**, v. 81, n. 6, p. 1599-1607, 1998. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75726-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75726-1)

WILKINSON, S.; SMART, K. A.; COOK, D. J. Optimisation of alkaline reagent based chemical pre-treatment of brewers spent grains for bioethanol production. **Industrial Crops and Products**, v. 62, p. 219-227, 2014.

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.08.036>

ZHANG, W. *et al.* Advances in gossypol toxicity and processing effects of whole cottonseed in dairy cows feeding. **Livestock Science**, v. 111, p. 1-9, 2007.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2007.03.006>

ZHANG, H. *et al.* Comparison of feeding value, ruminal fermentation and bacterial community of a diet comprised of various corn silages or combination with wheat straw in finishing beef cattle. **Livestock Science**, v. 258, 2022.

<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.104876>

CAPÍTULO 5. CONCLUSÃO GERAL

A integração das atividades de cultivo de cogumelo comestível e alimentação de bovinos foi realizada a partir do projeto de instalação e operação de uma biofábrica de produção de Shiitake e envio do composto cultivado gerado nesta biofábrica para criador de ruminantes.

Os resíduos agroindustriais para composição do substrato de cultivo do Shiitake foram selecionados de modo a satisfazer as exigências de desenvolvimento do micélio e corpo de frutificação do cogumelo e as exigências nutricionais bovinas. Foram selecionados para estudo resíduo de cervejaria (RC), palha de arroz (PA), casca de café (CC), casca de soja (CS) e caroço de algodão (CA), os quais foram caracterizados e utilizados para composição de oito diferentes substratos de cultivo, que tiveram sua composição centesimal calculada a partir da composição de cada resíduo e de sua proporção na formulação do meio.

Realizou-se, então, a avaliação da qualidade dos substratos para cultivo do Shiitake, descartando-se aqueles que não satisfaziam as exigências do fungo. Os substratos que não foram descartados foram avaliados quanto às alterações provocadas nos resíduos durante o desenvolvimento do fungo, calculando-se a composição centesimal dos mesmos após o processo de cultivo.

A composição do composto cultivado foi avaliada quanto à capacidade de atender às necessidades nutricionais bovinas. Para isso, foram selecionados bovinos com peso inicial de 400 kg e peso de 600 kg ao final do processo de alimentação com o composto, com ganho de peso diário de 1,5 kg. Os compostos que satisfizeram as exigências foram avaliados quanto a sua digestibilidade e quantidade de nutrientes fornecidos aos animais por kg de matéria seca.

O substrato que melhor atendeu às necessidades do Shiitake e dos bovinos foi aquele composto por RC:PA:CA na proporção 2:2:1 (b.s.). Este substrato apresenta, após o cultivo pelo Shiitake, digestibilidade de 68,70% para bovinos, comparada à digestibilidade de 63,22% antes do cultivo pelo fungo. A necessidade de ingestão proteica diária de bovinos nas condições estabelecidas é satisfeita com a ingestão de 9,74 kg/dia deste composto cultivado. Já para satisfazer também as exigências em relação à quantidade de nutrientes

digestíveis totais (NDT) e energia metabolizável total (EMt), a quantidade de composto cultivado a ser fornecida é de 11,85 kg/dia.

Para projeção da biofábrica, considerou-se a alimentação diária de 100 bovinos, totalizando a necessidade 1,185 t de composto diariamente. A biofábrica foi projetada para operação em ciclos semanais, com incubação de 700 blocos de substrato e envio de 8,3 t de composto cultivado ao criador de bovinos semanalmente.

A biofábrica receberá o RC semanalmente e a PA e CA mensalmente, armazenando-os em câmara de refrigeração. O composto para inoculação também será recebido mensalmente.

O substrato será preparado a partir da pesagem e homogeneização dos resíduos, que serão posteriormente esterilizados em autoclave a 121 °C e 1,1 atm, durante 20 minutos. O meio será então resfriado à temperatura ambiente até o dia seguinte ao da esterilização, e será realizada a inoculação. O substrato inoculado será embalado em blocos de 12 kg cada e enviado à sala de miceliação, onde permanecerá durante 60 dias, à temperatura de 25 °C. Após este período, serão realizados pequenos furos nas embalagens, e as prateleiras que as contêm serão movidas até a sala de frutificação, onde permanecerão a 15 °C por mais 30 dias, quando será realizada a colheita dos cogumelos, a partir de leve torção em seus talos.

Após a colheita, as embalagens contendo o composto cultivado serão enviadas ao criador de ruminantes, que será responsável pelo armazenamento do composto até que seja fornecido aos animais.

Para que a operação nessas condições seja possível, a biofábrica deverá contar com 2 câmaras de refrigeração, 4 balanças, 4 misturadores, 5 autoclaves, 10 câmaras de fluxo laminar e 56 prateleiras para incubação. O quadro de funcionários deverá ser composto por um diretor, um gerente, um funcionário responsável pelo setor de recursos humanos, dois responsáveis técnicos e 20 funcionários responsáveis pela realização das etapas operacionais.

Os valores estimados para as despesas de capital (CAPEX) e despesas operacionais (OPEX) foram de R\$ 3.427.851,50 e R\$ 690.940,50, respectivamente. Já os indicadores econômicos estimados foram: valor presente líquido (VPL) – R\$ 288.906,00; taxa interna de retorno (TIR) – 15% e tempo de retorno (*payback*) – 6,3 anos.

O preço de venda do cogumelo deverá ser de, no mínimo, R\$ 11,40/kg, enquanto o preço de venda do composto cultivado ao criador de ruminantes foi estimado em R\$ 3,77, comparado a valores entre R\$ 2,15 e R\$ 4,10 praticados atualmente no comércio de ração para bovinos. O preço praticado varia em função das qualidades nutricionais do alimento. O composto proposto neste projeto é capaz de fornecer todos os nutrientes necessários aos bovinos, não havendo necessidade de suplementação da alimentação, o que o coloca em vantagem em relação às rações de menor preço encontradas no mercado.