

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS E  
PROCESSOS INDUSTRIAIS**

João Francisco dos Santos

**UTILIZAÇÃO DE MODELAGEM DE MISTURAS TERNÁRIAS NA AVALIAÇÃO DE  
FORMULAÇÕES DE COMPOSTO PARA PRODUÇÃO DE *Agaricus bisporus***

Santa Cruz do Sul, fevereiro de 2012.

João Francisco dos Santos

**UTILIZAÇÃO DE MODELAGEM DE MISTURAS TERNÁRIAS NA AVALIAÇÃO DE  
FORMULAÇÕES DE COMPOSTO PARA PRODUÇÃO DE *Agaricus bisporus***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas e Processos Industriais – Mestrado, Área de Concentração em Controle e Otimização de Processos; Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, como requisitos parcial para obtenção do título de Mestre em Sistemas e Processos Industriais.

Orientador: Prof. Dr. Adilson Ben da Costa

Santa Cruz do Sul, fevereiro de 2012.

João Francisco dos Santos

**UTILIZAÇÃO DE MODELAGEM DE MISTURAS TERNÁRIAS NA AVALIAÇÃO DE  
FORMULAÇÕES DE COMPOSTO PARA PRODUÇÃO DE *Agaricus bisporus***

Esta Dissertação foi submetida ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas e Processos Industriais – Mestrado, Área de Concentração em Controle e Otimização de Processos; Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, como requisitos parcial para obtenção do título de Mestre em Sistemas e Processos Industriais.

Dr. Adilson Ben da Costa  
Professor Orientador

Dr. Luciano Marder  
Examinador Externo - UNISC

Dra. Maria Angélica Oliveira  
Examinador Externo - UFSM

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço especialmente a meu filho, Guilherme Daniel dos Santos, por tem me apoiado e me auxiliado na condução das etapas operacionais deste projeto, sem você meu filho nada seria possível.

Agradeço a minha filha, Isadora Daniel dos Santos que, mesmo sem entender direito, acabou tendo que em muitos momentos ceder parte do tempo que passaríamos juntos.

Agradeço a meu orientador Adilson Ben da Costa por me auxiliar de forma muito participativa, estando presente mais uma vez em outro passo importante de minha trajetória acadêmica.

Agradeço a todos os professores, colegas e colaboradores do Programa de Pós Graduação em Sistemas e Processos Industriais UNISC, que me auxiliaram e em muitos momentos me removeram da idéia de desistir da luta.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão de bolsa de estudo, possibilitando a realização dos estudos.

*“Criatividade consiste no total rearranjo do que sabemos com o objetivo de descobrir o que não sabemos.”*

(George Kneller)

## RESUMO

No presente trabalho foi desenvolvido um estudo a fim de propor e avaliar diferentes formulações de composto para a produção de cogumelo Champignon (*Agaricus bisporus* (Lange) Imbach), na região do Vale do Rio Taquari/RS, aplicando o planejamento experimental para misturas ternárias. Para tanto, foi desenvolvido um estudo preliminar que identificou como sendo as principais alternativas de materiais disponíveis na região o capim cameron, a palha de arroz e a palha de milho (híbrido e transgênico). Para reduzir o número de testes, foi utilizado o planejamento experimental com modelagem de misturas ternárias, compreendendo o desenvolvimento de modelos lineares, quadráticos e cúbicos, para mistura de três componentes. Ao todo foram planejados 12 testes de produção, em triplicata. Os resultados obtidos indicaram uma produtividade significativamente inferior à apresentada na literatura em todos os testes de produção, sendo que o melhor desempenho ocorreu para a mistura binária de capim cameron e palha de arroz (eficiência biológica = 4,79%), cuja melhor relação para esta mistura ocorre com 55% de capim cameron e 45% de palha de arroz. A produtividade e a eficiência biológica apresentaram forte influência da concentração de carbono e fósforo. Os resultados obtidos permitiram identificar, também, que o composto produzido a partir da palha de milho transgênico apresentou uma eficiência biológica 24% superior à da palha de milho híbrido. Em misturas ternárias a melhor eficiência biológica (2,79%), foi obtida nos testes com palha de milho transgênico.

Palavras-chave: *Agaricus bisporus*, compostagem, planejamento experimental, misturas ternárias.

## ABSTRACT

In this work there was developed a study to propose and evaluate different compost formulations for the production of Champignon mushroom (*Agaricus bisporus* (Lange) Imbach) in Rio Taquari valley, RS, using experimental planning for ternary compounds. This way, a preliminary study came up with cameron grass, rice straw and corn straw (hybrid and transgenic) as the main alternative materials available in the region to prepare the compounds. In order to reduce the number of tests, there was conducted an experimental planning with ternary compound models, which also included the development of linear, quadratic and cubic for mixing the three components. Altogether 12 production tests were planned in triplicate. Through the results, it was possible to observe that in all the tests the productivity was significantly lower than the one presented in the literature, and the best performance was observed for the cameron grass and rice straw (biological efficiency = 4.79%) in binary compound, considering that the best concentration for the compound was obtained with 55% of cameron grass and 45% of rice straw. It was also possible to verify that the productivity and biological efficiency have a significant influence on carbon and phosphorus concentrations. Finally, the results also made it possible to conclude that the compound obtained from transgenic corn straw have a biological efficiency 24% higher than the hybrid corn straw. In ternary compounds the best biological efficiency (2.79%) was obtained in tests with transgenic corn straw.

Keywords: *Agaricus bisporus*, composting, experimental design, ternary mixtures.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Curva padrão de temperatura ao longo do processo de decomposição. ..	32
Figura 2: Representação diagramática de zoneamento em uma pilha de compostagem. ....	32
Figura 3: Túnel de pasteurização típico. ....	36
Figura 4: Produção de cana de açúcar por município, média 2004 – 2006, com destaque para a região do Vale Rio do Taquari. ....	43
Figura 5: Produção média de arroz por COREDE no período de 2004 a 2006 com destaque para a região do Vale do Rio Taquari. ....	44
Figura 6: Produção média de milho por COREDE no período de 2004 a 2006 com destaque para a região do Vale do Rio Taquari. ....	45
Figura 7: Sistema representando uma função ligando os fatores às respostas. ....	48
Figura 8: Resíduos deixados por um modelo linear. ....	51
Figura 9: Planejamento de um modelo linear, quadrático e cúbico de mistura de três componentes. ....	54
Figura 10: Fluxograma executivo do projeto de pesquisa. ....	58
Figura 11: a) Coleta da palha de arroz. b) Palha de milho híbrido sendo triturada. ..	62
Figura 12: Amostras de material enviadas para análise. a) Palha de arroz; b) Palha de milho híbrido; c) Palha de milho transgênico; d) Capim cameron; e) Bagaço de cana de açúcar; f) Esterco de cavalo. ....	63
Figura 13: Bandeja confeccionada em tela com identificação da amostra. ....	65
Figura 14: Bandeja confeccionada em tela com identificação da amostra. ....	66
Figura 15: Bandeja empilhadas conforme distribuição algoritma proposta. ....	67
Figura 16: a) Bandejas no final do processo. b) Aspecto do material no final do processo. ....	69
Figura 17: a) Homogeneização do composto. b) Separação e pesagem das amostras. ....	70
Figura 18: a) Autoclave utilizado para desinfecção do composto. b) Amostras após autoclavagem. ....	71
Figura 19: a) Colocação de semente de inóculo e homogeneização dos testes. b) Adição de 20 % da semente na parte superior do saco de teste. ....	72
Figura 20: Teste 05-I com micélio indicando a colonização do composto. ....	73



Figura 21: Teste 06-I com a terra de cobertura.....	74
Figura 22: Variação da temperatura média dos testes por dia durante a compostagem.....	78
Figura 23: Temperatura máxima, mínima e média dos testes durante a compostagem. A linha pontilhada indica os valores máximos e mínimos sugeridos por Ferreira (1998). ....	79
Figura 24: Relação C/N dos testes após autoclavagem. A linha pontilhada indica o valor de referência citado por Bononi et al. (1999). ....	81
Figura 25: pH dos testes após autoclavagem. A linha pontilhada indica o valor da faixa de referência (máximo e mínimo) citado por Straatsma (1994a) e (1994b) e Steineck (1987) apud Eira (2000). ....	81
Figura 26: Teste 11T-III com destaque para a contaminação identificada. ....	83
Figura 27: a) Surgimento dos primeiros brotos na superfície da terra de cobertura. b) Primeiro cogumelo colhido (teste 06-I).....	84
Figura 28: Comparativo de Produtividade e Eficiência Biológica de testes com Produtividade obtida por Peil (1996). ....	87
Figura 29: Diagrama de dispersão da análise de componentes principais (PCA).....	90
Figura 30: Teste dos modelos linear, quadrático e cúbico, comparando com resultado obtido para a amostra 16H, utilizando palha de milho híbrido (linha pontilhada verde) e para a amostra 16T, utilizando palha de milho transgênico (linha pontilhada azul). ....	96
Figura 31: Gráfico que apresenta os resultados de eficiência biológica entre misturas binárias de palha de milho híbrido com capim cameron e palha de arroz.....	98
Figura 32: Gráfico que apresenta os resultados de eficiência biológica entre misturas binárias de palha de milho transgênico com capim cameron e palha de arroz.....	98
Figura 33: Gráfico que apresenta a linha de tendência e os resultados de eficiência biológica entre misturas binárias de capim cameron e palha de arroz. ....	99
Figura 34: Superfície de resposta de um modelo linear para mistura de três componentes utilizando misturas de palha de milho híbrido, palha de arroz e capim cameron.....	100

Figura 35: Superfície de resposta de um modelo linear para mistura de três componentes utilizando misturas de palha de milho transgênico, palha de arroz e capim cameron.....	100
Figura 36: Superfície de resposta de um modelo quadrático para mistura de três componentes utilizando misturas de palha de milho híbrido, palha de arroz e capim cameron.....	101
Figura 37: Superfície de resposta de um modelo quadrático para mistura de três componentes utilizando misturas de palha de milho transgênico, palha de arroz e capim cameron.....	102
Figura 38: Superfície de resposta de um modelo cúbico para mistura de três componentes utilizando misturas de palha de milho híbrido, palha de arroz e capim cameron.....	103
Figura 39: Superfície de resposta de um modelo cúbico para mistura de três componentes utilizando misturas de palha de milho transgênico, palha de arroz e capim cameron.....	103

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparação da produção mundial de todos os cogumelos comestíveis cultivados com a produção mundial de <i>Agaricus bisporus</i> (massa fresca X 1000 t). .....	21
Tabela 2: Produção mundial de cogumelos comestíveis distribuídos por espécie....	22
Tabela 3: Resultados da composição das principais espécies de cogumelos comestíveis produzidas no Brasil. ....	23
Tabela 4: Composição de alguns resíduos vegetais usados em compostagem. ....	28
Tabela 5: Exemplos de formulações de compostos utilizados atualmente. ....	30
Tabela 6: Principais grupos de microrganismos isolados durante o processo de compostagem. ....	34
Tabela 7: Tabela comparativa das fases e temperaturas de pasteurização apresentadas pelas literaturas. ....	36
Tabela 8: Área plantada e produtividade média do município de Taquari-RS. ....	46
Tabela 9: Composição média do capim elefante e do bagaço de cana. ....	46
Tabela 10: A evolução de um estudo empírico. ....	48
Tabela 11: Matriz das variáveis codificadas do Planejamento Fatorial 2 <sup>3</sup> e os respectivos valores das variáveis. ....	50
Tabela 12: Caracterização dos ensaios com relação de misturas de materiais - modelo completo. ....	60
Tabela 13: Caracterização dos ensaios com relação de misturas de material – misturas mínimas. ....	60
Tabela 14: Caracterização dos ensaios com misturas de material vegetal – misturas mínimas para palha de milho (duas variedades), palha de arroz e capim cameron. ....	61
Tabela 15: Fórmula padrão à ser utilizada para formulação dos compostos. ....	64
Tabela 16: Percentual de massa utilizada para cada formulação com relação a fórmula padrão. ....	66
Tabela 17: Distribuição das bandejas nas reviragens realizadas. ....	68
Tabela 18: Distribuição da adição de insumos nas reviragens realizadas. ....	68
Tabela 19: Resultados analíticos dos materiais a serem utilizados nos testes. ....	77

Tabela 20: Resultados analíticos do material compostado. ....	80
Tabela 21: Produção final de cogumelos. ....	85
Tabela 22: Produtividade e eficiência biológica dos testes considerando as duas melhores amostras. ....	86
Tabela 23: Resultados utilizados para análise de componentes principais.....	89
Tabela 24: Autovetores das variáveis nas duas primeiras componentes principais..	91
Tabela 25: Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis.....	91
Tabela 26: Cálculo dos coeficientes utilizando os resultados da palha de milho híbrido no conjunto de misturas mínimas para obtenção de um modelo cúbico. ....	93
Tabela 27: Cálculo dos coeficientes utilizando os resultados da palha de milho transgênico no conjunto de misturas mínimas para obtenção de um modelo cúbico. ....	94

## LISTA DE ABREVIATURAS

atm	Atmosfera
ASCAR	Associação Sulina de Crédito e Assistência Rural
°C	Graus Celsius
cm	Centímetros
C/N	Relação entre as concentrações de Carbono e Nitrogênio
COREDE	Conselho Regional de Desenvolvimento
EMATER	Associação Riograndense de Empreendimento de Assistência Técnica e Extensão Rural
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EB	Eficiência Biológica
g	Grama
h	hora
ha	Hectare
kg	Quilograma
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
M.O.	Matéria orgânica
PRD	Produtividade
pH	Potencial hidrogeniônico
PCA	Análise de Componentes Principais
SEAGRI – BA	Secretaria de Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária da Bahia
SEPLAG	Secretaria de Planejamento e Gestão do Rio Grande do Sul
t	tonelada
UFC/g	Unidades formadoras de colônias por grama

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>19</b>
2.1 Objetivo Geral.....	19
2.2 Objetivos específicos .....	19
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>20</b>
3.1 Cogumelos comestíveis.....	20
3.2 Formulação e produção de composto.....	24
3.2.1 Método clássico / natural.....	25
3.2.2 Composto artificial ou sintético.....	26
3.3 Produção de cogumelo Champignon.....	38
3.3.1 Semeadura ou inoculação.....	38
3.3.2 Incubação.....	39
3.3.3 Terra de cobertura.....	40
3.3.4 Condições da câmara de cultivo após colocação da terra de cobertura ...	41
3.3.5 Colheita .....	41
3.4 A disponibilidade de insumos para compostagem na região do Vale do Rio Taquari.....	41
3.5 Planejamento experimental .....	47
3.5.1 Técnicas utilizadas para o planejamento experimental .....	48
3.5.2 Cálculo dos coeficientes de resposta .....	53
3.6 Análise de Componentes Principais .....	55
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>57</b>
4.1 Definição dos materiais a serem testados .....	58
4.2 Desenvolvimento do planejamento experimental .....	59
4.3 Aquisição e preparação dos insumos para realização dos ensaios.....	62
4.4 Formulação e produção de composto.....	63
4.4.1 Análise da relação C/N, teor de umidade e pH .....	63
4.4.2 Ajuste da fórmula .....	64
4.4.3 Execução da compostagem .....	65

4.4.4 Desinfestação do composto .....	70
4.4.5 Análise do composto .....	71
4.5 Cultivo dos cogumelos.....	71
4.5.1 Inoculação .....	71
4.5.2 Incubação.....	72
4.5.3 Preparação e colocação de terra de cobertura .....	73
4.5.4 Condições ambientais após colocação da terra de cobertura até a colheita .....	74
4.6 Variáveis de resposta .....	75
4.6.1 Determinação da produtividade e eficiência biológica.....	75
4.6.2 Avaliação dos resultados .....	75
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>77</b>
5.1 Caracterização física e química dos insumos para compostagem .....	77
5.2 Monitoramento da temperatura de compostagem .....	78
5.3 Caracterização física e química do composto .....	80
5.5 Desempenho do processo de produção .....	82
5.6 Massa de cogumelo colhido .....	84
5.7 Análise das variáveis de resposta obtidas .....	86
5.7.1 Produtividade e eficiência biológica .....	86
5.7.2 Análise de componentes principais (PCA) .....	89
5.7.3 Construção e interpretação dos modelos para misturas ternárias .....	92
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>105</b>
<b>7. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>107</b>
<b>ANEXO A: Tabela de cálculo de ajuste da relação C/N e massa a ser pesada por teste .....</b>	<b>113</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os fungos são utilizados na alimentação humana desde a mais longínqua antiguidade, quando o homem descobriu a metodologia e a técnica de preparo do pão, do queijo e das bebidas, ignorando o que provocava a fermentação, fazendo crescer o pão, desenvolvendo o queijo e fazendo surgir o álcool nas bebidas (PUTZKE e PUTZKE, 2004).

Até o ano de 2004, mais de 3000 espécies de cogumelos estavam classificadas como espécies comestíveis, das quais apenas 200 espécies são cultivadas experimentalmente, 100 destas cultivadas com fins econômicos, cerca de 60 são cultivadas comercialmente, e apenas 10 espécies são cultivadas em escala industrial, sendo que dentre estas se destacam: *Agaricus bisporus*, *Agaricus bitorquis*, *Lentinula edodes*, *Pleurotus* spp., *Auricularia* spp., *Volvariella volvacea*, *Flammulina velutipes*, *Tremella fuciformis*, *Hypsizigus marmoreus*, *Pholiota nameko* e *Grifola frondosa* (CHANG e MILES, 2004).

Enquanto no ano de 1997 o mundo já produzia em torno de 6,16 milhões de toneladas de cogumelos comestíveis (CHANG e MILES, 2004), no Brasil apenas nos últimos anos foi possível verificar um crescimento na produção e na demanda de cogumelos comestíveis, chegando a um crescimento médio de 16% ao ano, com destaque para as variedades exóticas, como *Pleurotus* spp. (Shimeji) e *Lentinula edodes* (Shiitake), cujo aumento anual tem sido na faixa de 30%. Conforme Seagri - BA (2010), o Brasil produz cerca de 8 mil toneladas de cogumelos ao ano, sendo que praticamente 70% desse volume são colhidos na região paulista do Alto Tietê (SEAGRI – BA, 2010).

Este crescimento ocorre especialmente em função do seu excelente valor nutritivo, conforme destacado por Furlani e Godoy (2007). Os cogumelos Champignon, Shiitake e Shimeji (espécies mais comumente cultivadas no Brasil), constituem um alimento com alto teor de proteínas e fibras alimentares, além de baixo teor de lipídeos e uma considerável quantidade de fósforo.

Apesar desta evolução verificada no consumo dos últimos anos no Brasil, a produção desses fungos ainda é pequena (cerca de 130 gramas por habitante) quando comparada com outros países europeus, como por exemplo, a França, aonde o consumo chega a 2 kg por habitante, a Itália, onde se consome cerca de 1,3 kg, e a Alemanha, na qual o consumo alcança 4 kg. Segundo a Embrapa



(Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) o principal fator que ainda separa os cogumelos da mesa do consumidor brasileiro é o alto preço desses produtos no mercado.

O cogumelo Champignon (*Agaricus bisporus* (Lange) Imbach) continua sendo o cogumelo mais consumido no mundo e o mais popular do Brasil, e isto se deve principalmente à facilidade que esta espécie tem de adaptar a diferentes tipos de habitat, desenvolvendo-se em temperaturas próximas a 20 °C (SINDICATO RURAL DE MOGI DAS CRUZES, 2012).

O crescimento observado nos últimos anos no consumo de cogumelos no Brasil abre um nicho de mercado para a produção deste produto em regiões próximas dos grandes centros consumidores, uma vez que a importação das grandes regiões produtoras (região paulista do Alto Tietê) acaba elevando o custo deste por conta do transporte. A produção em localidades próximas aos centros consumidores favorece também o consumo de cogumelo na forma “in natura”, já que esta forma de comercialização somente é possível por poucas horas após a colheita.

O cogumelo, por se tratar de um fungo saprófito, se alimenta de material orgânico em estado de decomposição (MOLENA, 1986). A produção comercial baseia-se então na simulação desta condição natural, através da produção de substrato preparado por processo de compostagem, sendo que para isto normalmente se utilizam resíduos vegetais de baixo valor comercial e esterco.

Mesmo se utilizando de resíduos vegetais, a necessidade de um ambiente extremamente controlado torna a produção do cogumelo Champignon (*Agaricus bisporus*) um processo muito oneroso. Existem estudos de uma grande variedade de formulações de composto empregados. No entanto, a escolha da formulação mais adequada está diretamente relacionada a aspectos socioeconômicos e ambientais de cada região produtora.

O principal material utilizado como substrato no Brasil, especialmente no estado de São Paulo (principal região produtora), é o bagaço de cana de açúcar, resultante da atividade extrativa de álcool, muito intensificada naquela região. Já o estado do Rio Grande do Sul, e especialmente a região do Vale do Rio Taquari, historicamente não é um grande produtor de cana de açúcar; sendo que a produção verificada nesta região se destina basicamente para o consumo animal, não gerando portanto o bagaço como resíduo aproveitável para a produção de composto. Este fator, aliado ao custo de transporte de bagaço de cana de açúcar de regiões

produtoras, é determinante para a implantação desta atividade econômica no Vale do Rio Taquari.

Neste contexto, a investigação de um substrato adequado às cadeias produtivas locais é um fator fundamental para o desenvolvimento da fungicultura de forma sustentável e competitiva, ou seja, uma produção economicamente viável, ambientalmente correta e cujo valor comercial esteja adequado ao poder aquisitivo dos consumidores. Porém, dada a diversidade de resíduos agrícolas produzidos na região e a possibilidade de efeitos sinérgicos ou antagônicos na utilização de misturas destes materiais sobre a produção, pode tornar qualquer trabalho de investigação criticamente moroso e oneroso.

No entanto, a utilização do planejamento experimental para o modelamento de misturas e a elaboração de diagramas ternários para a interpretação de seus efeitos é uma alternativa para viabilizar estudos desta dimensão (BARROS NETO et al., 2003 e HILLIG et al., 2003).

Desta forma, este estudo pretende avaliar diferentes formulações de composto para a produção de *Agaricus bisporus* com aplicação de modelagem de misturas ternárias, testando diferentes alternativas de materiais residuais disponíveis na região do Vale do Rio Taquari – RS, capaz de substituir o bagaço de cana de açúcar sem perda de produtividade para a produção do cogumelo Champignon (*Agaricus bisporus*).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo principal deste estudo foi propor e avaliar diferentes formulações de composto para a produção de cogumelo Champignon (*Agaricus bisporus*) na região do Vale do Rio Taquari – RS, aplicando o planejamento experimental para misturas ternárias.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Definir alternativas de materiais residuais ou gramíneas de corte disponíveis na região, que possam ser utilizados para formulação do composto;
- Efetuar planejamento experimental com modelagem de misturas ternárias para realização das formulações de composto;
- Com base no planejamento experimental definido, realizar os experimentos de formulação de composto em pequena escala;
- Realizar o cultivo de cogumelo Champignon em triplicata, utilizando todas formulações de composto realizadas;
- Avaliar a produção obtida, definindo a melhor formulação de composto.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A revisão de literatura abordada nesta pesquisa está dividida em cinco tópicos principais. O primeiro tópico aborda dados históricos e econômicos sobre a produção e cultivo de cogumelos comestíveis; o segundo apresenta técnicas atualmente utilizadas para formulação e produção de compostos para a cultura de cogumelos; o terceiro apresenta o roteiro atualmente empregado para produção do cogumelo Champignon, o quarto tópico apresenta o resultado da pesquisa exploratória conduzida para avaliar a disponibilidade de insumos para compostagem na região do Vale do Rio Taquari e o último tópico aborda o planejamento experimental.

#### 3.1 Cogumelos comestíveis

No início da civilização dos gregos, egípcios, romanos, chineses e mexicanos, os cogumelos eram apreciados como uma iguaria. Atribuía-se a ele valor terapêutico e muitas vezes, também o usavam em cerimônias religiosas. Isto fica comprovado pela existência de hieróglifos escritos há 4.600 anos, dando conta de que os egípcios utilizavam os cogumelos em práticas religiosas e acreditavam que os mesmos garantiam a imortalidade. Também relatavam que os faraós consideravam o produto como “comida real”, não sendo permitido ao cidadão comum tocá-los (HERRERA, 2001 e CHANG e MILES, 2004).

Com o desenvolvimento do cultivo de plantas para alimentação, era inevitável que o cogumelo passasse a ser visto como uma fonte de alimento e acabasse também por ser cultivado, deixando de ser simplesmente colhido no estado selvagem (CHANG e MILES, 2004).

No Brasil, os índios utilizavam algumas poucas espécies na alimentação e com fins medicinais, apresentando nomes diferentes por grupo de cogumelos; mostrando que de alguma forma já possuíam noção da toxicologia de algumas espécies (BONONI et al., 1999).

O *Agaricus bisporus* é o cogumelo comestível mais popular cultivado nos países ocidentais, conhecido como o cogumelo branco ou cogumelo Champignon. O cultivo se desenvolveu muito nos últimos 50 a 60 anos, deixando

de ser considerado um empreendimento arriscado para ser um processo amplamente previsível e controlável industrialmente. Este grande crescimento se deve ao amplo desenvolvimento industrial resultante de muitos esforços de pesquisas sobre este tipo de cogumelo, especialmente na Grã-Bretanha e Holanda (CHANG e MILES, 2004).

A produção mundial de *Agaricus bisporus* no ano de 1997 era em torno de 2 milhões de toneladas, representando 31,8% da produção total de cogumelos comestíveis do mundo. Embora a produção absoluta de *Agaricus bisporus* tenha demonstrado um grande crescimento nos últimos anos, motivado pelo aumento do consumo mundial, na Tabela 1 podemos verificar que a representatividade do *Agaricus bisporus* em relação ao consumo total de cogumelos comestíveis vem caindo em média 5,3% ao ano no período de 1975 a 1997. Este fato deve-se especialmente ao aumento da produção de outros cogumelos como o *Lentinula*, *Pleurotus*, *Flammulina* e *Hypsizygos*, especialmente no continente asiático (CHANG e MILES, 2004).

**Tabela 1:** Comparação da produção mundial de todos os cogumelos comestíveis cultivados com a produção mundial de *Agaricus bisporus* (massa fresca X 1000 t).

Ano	Produção mundial de cogumelos comestíveis	Produção mundial de <i>Agaricus bisporus</i>	% <i>Agaricus bisporus</i> em relação à produção mundial
1975	916,0	670,0	73,1
1981	1257,2	900,0	71,6
1986	2182,0	1227,0	56,2
1990	3763,0	1424,0	37,7
1994	4909,3	1846,0	37,6
1997	6158,4	1955,9	31,8

**Fonte:** Chang e Miles, 2004.

Ainda avaliando o cenário do ano de 1997, Chang e Milles (2004) acrescentam que as espécies *Lentinula edodes* e *Pleurotus* spp. juntas, correspondem a 39,6% da produção mundial, que somado ao percentual produzido de *Agaricus bisporus*, se atinge um total de 71,4%, somente para estas três espécies, conforme podemos verificar através da Tabela 2, que apresenta a distribuição da produção de cogumelos comestíveis no mundo.

**Tabela 2:** Produção mundial de cogumelos comestíveis distribuídos por espécie.

<b>Espécies de cogumelo</b>	<b>Produção mundial (massa fresca X 1000 t)</b>	<b>Produção mundial (%)</b>
<i>Agaricus bisporus / bistorquis</i>	1955,9	31,8
<i>Lentinula edodes</i>	1564,4	25,4
<i>Pleurotus spp.</i>	875,6	14,2
<i>Auricularia spp.</i>	485,3	7,9
<i>Volvariella volvacea</i>	180,8	3,0
<i>Flammulina velutipes</i>	284,7	4,6
<i>Tremella fuciformis</i>	130,5	2,1
<i>Hypsizigus marmoreus</i>	74,2	1,2
<i>Pholiota nameko</i>	55,5	0,9
<i>Grifola frondosa</i>	33,1	0,5
Outros	518,4	8,4
<b>Total</b>	<b>6158,4</b>	<b>100</b>

**Fonte:** Chang e Miles, 2004.

No Brasil, a primeira espécie cultivada foi o Champignon de Paris (*Agaricus bisporus*) que teve início em 1953, com a vinda de imigrantes chineses para Mogi das Cruzes/SP e do italiano Oscar Molena que se estabeleceu em Atibaia/SP. Alguns anos depois surge o cultivo do cogumelo gigante ou Shimeji (*Pleurotus ostreatus*) e o Shiitake (*Lentinus edodes*) (BONONI et al., 1999).

A produção anual do Brasil em 2006 girava em torno de 8 mil toneladas de cogumelos, sendo que as principais espécies produzidas também seguem a tendência mundial, com maior produção para as espécies de Champignon, seguido pelos cogumelos Shimeji e Shiitake (SEAGRI – BA, 2010).

Os principais fornecedores do cogumelo Champignon estão localizados no Estado de São Paulo (82,6%), nos municípios de Itaquaquecetuba, Mogi das Cruzes, Itupeva e Jundiaí. O Distrito Federal é responsável por 17,35% do fornecimento, seguido por Goiânia com 4,34% (DUPRAT e SOUZA, 2003). Na região de Mogi das Cruzes/SP, que até hoje ainda é o maior produtor nacional desta espécie, são produzidas 10 mil toneladas de cogumelos, o que representa 80% da produção nacional (SINDICATO RURAL DE MOGI DAS CRUZES, 2012).

Os cogumelos representam uma importante fonte de aminoácidos, contendo todos os essenciais e não essenciais; além de conter minerais, como cálcio, potássio, iodo, fósforo e também vitaminas, como tiamina, riboflavina, niacina, ácido ascórbico e outras do complexo B. No entanto, esta composição pode variar de acordo com a espécie e o substrato utilizado no seu cultivo (BONONI et al., 1999; MOLENA, 1986).

Furlani e Godoy (2007), também avaliaram a composição centesimal, o teor de ácido ascórbico, a fibra alimentar e o fósforo dos cogumelos mais cultivados no Brasil: Champignon (*Agaricus bisporus*), Shimeji (*Pleurotus ostreatus*) e o Shiitake (*Lentinus edodes*). Através da composição centesimal dos cogumelos estudados, estes autores concluíram que estes alimentos possuem características nutricionais excelentes, pois apresentam alto teor de proteínas e fibras alimentares, além de oferecerem baixo teor de lipídeos. Há uma considerável quantidade de fósforo e os valores encontrados para ácido ascórbico não são expressivos para considerá-los fonte dessa vitamina. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos por Furlani e Godoy na avaliação das principais espécies de cogumelos comestíveis cultivadas no Brasil e por Loss (2009), que realizou análise de caracterização do produto obtido (Shimeji) após realização de teste, que avaliou o aproveitamento de resíduos da cadeia produtiva do milho para cultivo de cogumelos comestíveis.

**Tabela 3:** Resultados da composição das principais espécies de cogumelos comestíveis produzidas no Brasil.

Análise realizada	Champignon	Shiitake	Shimeji	Shimeji (*)
Teor de sólidos totais (%) (Base úmida)	8,00 ± 1,07	8,39 ± 1,62	9,23 ± 1,71	---
Teor de carboidratos (%) (Base seca)	54,12 ± 7,42	69,58 ± 2,05	65,82 ± 7,86	65,76 ± 0,17
Teor de proteína (%) (Base seca)	28,45 ± 7,25	18,98 ± 1,16	22,22 ± 6,37	13,5 ± 0,60
Teor de lipídeos (%) (Base seca)	5,42 ± 1,37	4,39 ± 1,30	4,30 ± 1,01	1,00 ± 0,30
Teor de cinzas (%) (Base seca)	11,98 ± 1,54	7,04 ± 1,24	7,65 ± 1,20	4,56 ± 0,30
Teor de fibra alimentar (%) (Base seca)	20,44 ± 2,34	41,92 ± 4,57	39,62 ± 13,12	34,6 ± 0,08
Teor de ácido ascórbico (mg.100 g <sup>-1</sup> ) - (Base úmida)	6,30 ± 1,34	7,19 ± 1,55	6,50 ± 0,72	---
Teor de fósforo (mg.100 g <sup>-1</sup> ) (Base úmida)	113,3 ± 22,5	89,4 ± 23,7	109,7 ± 59,0	---

**Fonte:** Furlani e Godoy, 2007; (\*) Loss, 2009.

O consumo do cogumelo normalmente é feito na forma “in natura” ou em conserva. Sob a forma “in natura”, o sabor é ressaltado e utilizado em diversos tipos de preparo de molhos, massas e mesmo o uso sem cozimento para saladas. Quando em conserva, é comum o uso em molhos e tradicionalmente é utilizado como principal ingrediente no preparo de stroganoff (UNESP, 2008).

### **3.2 Formulação e produção de composto**

Embora seja considerado um vegetal, diferentemente dos demais integrantes deste grupo que possuem clorofila e retiram água e nutrientes do solo e carbono da atmosfera para produzirem o seu alimento, os cogumelos são seres heterotróficos e alimentam-se de matéria orgânica já pronta, retirando carbono e nitrogênio de madeiras, esterco e restos vegetais ou animais (FERREIRA, 1998 e BONONI et al., 1999).

Para a produção de cogumelo Champignon utiliza-se composto a base de palha, que fornece o carbono e a base de esterco, que corresponde à principal fonte de nitrogênio, buscando-se uma mistura que represente uma relação entre carbono e nitrogênio em torno de 30 (relação C/N=30), imitando-se desta forma o ambiente que o cogumelo mais se adapta na natureza (BONONI et al., 1999).

O composto corresponde ao substrato que dá fixação e fornece o alimento para o cogumelo se desenvolver. Este composto é constituído de resíduos orgânicos em decomposição, oriundos do ciclo de uma determinada cadeia alimentar. Numa compostagem biológica artificial, para produção de cogumelo ou mesmo para produção de adubo orgânico, procura-se seguir os passos de um processo natural de decomposição, de forma a se obter um composto que apresente um balanceamento adequado de carbono, nitrogênio e outros nutrientes que propiciem condições para que o cogumelo se desenvolva da forma esperada (FERREIRA, 1998 e BONONI et al., 1999).

O tipo do composto e o método de compostagem deverão ser escolhidos pelo produtor de acordo com os insumos de fácil aquisição na sua região de produção, de acordo com a disponibilidade e o menor custo de transporte (BONONI et al., 1999).



Segundo Eira (2000), na literatura encontram-se muitas fórmulas de compostos, os quais podem ser agrupados em: compostos clássicos, utilizando esterco eqüino (cavalo) e esterco de aves (frango), entre outros; ou compostos sintéticos, cujas fontes de nitrogênio têm composição mais estável, possibilitando maior repetibilidade entre os ciclos de produção. Nos subitens que seguem serão apresentados os principais métodos atualmente empregados para a produção destes compostos.

### **3.2.1 Método clássico / natural**

Desde os primórdios da agricultura, o esterco de cavalo constitui um adubo por excelência. Isto se deve ao fato do cavalo não ser um animal ruminante e por este motivo possuir em seu intestino microorganismos que ajudam a digerir os alimentos, que uma vez presentes na compostagem podem acelerar este processo (MOLENA, 1986 e FERREIRA, 1998).

Segundo Molena (1986), o esterco de cavalo é um adubo completo para a produção de cogumelo, pois possui os elementos nutritivos como o potássio, fósforo, cálcio e magnésio em quantidades suficientemente equilibradas, incluindo também outros elementos necessários em menores quantidades como o ferro, enxofre, zinco e cobre. A única deficiência apresentada por este composto é com relação ao nitrogênio que necessita ser aumentado mediante adição de adubação orgânica ou mineral.

A compostagem com base no esterco de cavalo corresponde a um método tradicional, cujo preparo consiste em misturar o esterco e a palha que compõe a “cama de estrebaria” em pilhas (leiras) que ficam em compostagem (fermentando) por quatro semanas ou mais, sendo que durante este período o material é constantemente umedecido e revirado (BONONI et al., 1999).

Na leira, o composto elevará a temperatura naturalmente até 60-80 °C e o material progressivamente vai se alterando, até a temperatura ir retornando a temperatura ambiente (BONONI et al., 1999).

### **3.2.2 Composto artificial ou sintético**

O composto artificial é o mais aplicado para cultivo de cogumelos, eliminando problemas como a estocagem do esterco de cavalo, cada vez mais difícil de encontrar nos dias atuais, e também a qualidade do esterco que acaba gerando a necessidade de correção, devido a diferenças das substâncias nutrientes que entram na sua composição (MOLENA, 1986).

Existem várias fórmulas disponíveis para produção de composto com rendimento satisfatório, sendo que todas elas se baseiam em misturas de palhas de trigo, de arroz ou capim gordura com adubos orgânicos e corretivos, como esterco de galinha, torta de algodão, uréia, sulfato de amônia, gesso, carbonato de cálcio, superfosfato e cloreto de potássio (MOLENA, 1986).

No cultivo atual de Champignon, a compostagem divide-se em duas etapas: a primeira, “compostagem livre na pilha”, com duração de 6 a 14 dias; e a segunda; a pasteurização, que ocorre dentro de uma câmara controlada, com duração de 6 a 10 dias (BONONI et al., 1999). Em substituição a esta segunda etapa, que visa a desinfestação do composto, podem ser utilizadas mais duas técnicas que foram estudadas e comparadas com a técnica de pasteurização por Peil et al. (1996), que é a fumigação com brometo de metila e a autoclavagem. O uso do brometo de metila no Brasil para fins de cultivo está proibido pela instrução normativa conjunta nº 01 de 10 de setembro de 2002 (BRASIL, 2002). A partir desta proibição, a alternativa que substitui o processo de pasteurização se restringe a autoclavagem.

Com base nestas etapas, a seguir serão apresentados conceitos sobre a composição das formulações atualmente utilizadas e as fases 1 e 2 do processo de compostagem.

#### **3.2.2.1 Formulação do composto**

O balanceamento inicial da mistura para compostagem, por motivo de simplicidade, leva em consideração apenas os teores de carbono e de nitrogênio, pois os teores de fósforo, potássio, sódio, cálcio, ferro, entre outros, já estão normalmente presentes em concentrações adequadas, não sendo, portanto, um limitante no processo de desenvolvimento do cogumelo (FERREIRA, 1998).

A relação (razão) entre carbono e nitrogênio deve ser da ordem de 30 (relação C/N = 30), a qual sofrerá alteração após o processo de fermentação do composto, neste processo bioquímico o nitrogênio orgânico é convertido em nitrogênio amoniacal e absorvido para a formação do protoplasma celular de microorganismos. O carbono por sua vez é fixado a uma taxa de 10 partes para uma parte de nitrogênio, enquanto que 20 partes são perdidas na forma de CO<sub>2</sub>. No final do processo, considerando estas reações, a relação deverá ser de da ordem de 16 (relação C/N = 16) (FERREIRA, 1998 e BONONI et al., 1999).

Segundo Ferreira (1998) o teor de matéria orgânica presente na mistura é cerca de 55%, e considerando também que a relação C/N no balanço inicial deva ser de 30/1, o teor de nitrogênio no balanceamento inicial deve ser de aproximadamente 1,8% em massa seca. A observação destes valores de nitrogênio é fundamental, uma vez que os microorganismos para se multiplicarem consomem nitrogênio e, portanto a falta deste componente acarretará numa redução da fermentação do meio (FERREIRA, 1998).

Os resíduos celulósicos como as palhas de trigo, arroz, bagaço de cana, capins secos como *coast-cross*, colômbio e gordura, fornecem o carbono essencial para a formação das células microbianas e também para propiciar uma boa oxigenação da leira (FERREIRA, 1998). A Tabela 4 apresenta a composição de alguns resíduos de vegetais utilizados para produção de composto, descrito por Ferreira (1998).

A presença do nitrogênio, especialmente no esterco e em outros materiais orgânicos adicionados a mistura, como farelos ou adubos nitrogenados, forma uma relação fundamental para assimilação dos microorganismos, permitindo-lhes desenvolver-se e multiplicar-se na proporção correta (MOLENA, 1986 e FERREIRA, 1998).

**Tabela 4:** Composição de alguns resíduos vegetais usados em compostagem.

Resíduo	M.O. (%)	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	C/N
Palha de arroz	54,34	0,78	0,58	0,41	39
Palha de aveia	58,00	0,66	0,33	1,91	72
Capim gordura	92,00	0,62	0,17	-	81
Palha de centeio	85,00	0,47	0,29	1,01	100
Palha de cevada	85,00	0,75	0,22	1,26	63
Palha de milho	96,75	0,48	0,38	1,64	112
Sabugo de milho	45,20	0,52	0,19	0,90	101
Palha de trigo	92,40	0,73	0,07	1,28	70
Serragem	93,45	0,06	0,01	0,01	865
Bagaço	71,44	1,07	0,25	0,94	37
Torta de algodão	92,40	5,68	2,11	1,33	9
Torta de mamona	92,20	5,44	1,91	1,54	10
Torta de soja	78,40	6,56	0,54	1,54	7

Onde: M.O. – matéria orgânica; N – nitrogênio; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – pentóxido de fósforo; K<sub>2</sub>O – óxido de potássio; C/N – razão carbono/nitrogênio.

**Fonte:** Ferreira, 1998.

Para ajuste da relação C/N, utiliza-se uma regra para aditivos no composto palha/esterco, ou seja, a relação de uma parte de superfosfato, quatro partes de carbonato de cálcio e quatro partes de gesso. O nitrogênio é fornecido pelo sulfato de amônio, podendo também ser utilizado como fonte de nitrogênio a uréia, o nitrato de amônio, farinha de sangue ou farinha de peixe. A quantidade de sulfato de amônio deve ficar em torno de 10 kg para 450 kg de matéria seca. No entanto, quando o esterco utilizado for um material fresco (com dois ou três dias), esta quantidade poderá ser reduzida para até 5 kg, conforme maturação do esterco recebido (MOLENA, 1986 e FERREIRA, 1998).

Maio et al. (2003) avaliaram a influência da composição do substrato na velocidade de crescimento, na eficiência biológica e na composição centesimal do cogumelo *Pleurotus ostreatus*. Eles concluíram que a concentração de arroz, pH e concentração de inóculo apresentaram influência significativa no crescimento de *Pleurotus ostreatus* e na quantidade de carboidratos, sendo os maiores valores de carboidratos obtidos com as maiores concentrações de farelo de arroz (20%) para um valor de pH 7, com concentração de inóculo 10%.

O gesso é importante para a estrutura do composto e eliminação do excesso de água e o carbonato de cálcio utilizado tem como principal função fornecer ao meio um efeito “tampão”, elevando e mantendo o pH em 6,8 (EIRA, 2000). Por este motivo, em muitos casos o carbonato de cálcio é adicionado no final do processo de compostagem.

Segundo BONONI et al., 1999, outro elemento importante na composição do substrato é a água, pois ela é a base de composição do corpo de frutificação, e por este motivo, a umidade deve ser controlada durante todo o processo de produção do composto numa faixa de aproximadamente 70%. Contudo, teores superiores de umidade podem prejudicar o cultivo.

Existem diferentes métodos de compostagem descritos na literatura com resultados similares de produtividade. Dentre estes foram selecionados, nesta revisão de literatura, aqueles mais adequados ao escopo deste estudo, como pode ser observado na Tabela 5 (BONONI et al., 1999; FERREIRA, 1998; GIBBONS et. al., 1991; PEIL et. al., 1996 e ANDRADE et. al., 2008).

**Tabela 5:** Exemplos de formulações de compostos utilizados atualmente.

Material	Tradicional (Bononi)	Utilizado em Mogi (Bononi)	Utilizado na Holanda (Bononi)	Compostagem curta (Bononi)	(Ferreira)	(Peil)	Padrão (Gibbons)	Coast-Cross (Andrade)	Tifton (Andrade)
Palha de arroz	1260 kg	---	---	---	1,5 ton.	95 kg	---	---	---
Bagaço de cana	---	2000 kg	---	---	25 ton.	---	---	600 kg	600 kg
Palha de trigo ou de arroz	---	---	1400 kg	---	---	45 kg	8420 kg	---	---
Sabugo de milho	---	---	---	---	---	---	5405 kg	---	---
Feno	---	---	---	---	---	---	5314 kg	---	---
Coast-cross ou Aveia	---	---	---	---	---	---	---	280	---
Tifton	---	---	---	---	---	---	---	---	280
Cama de cavalo	---	---	---	1000 kg	---	---	---	---	---
Esterco de cavalo	540 kg	300 kg	600 kg	---	10 ton.	---	---	---	---
Esterco de galinha	---	160 kg	160 kg	10-20 kg	1 ton.	---	---	---	---
Farelo de soja	---	---	---	---	1,2 ton.	---	1020 kg	100 kg	90 kg
Farelo de soja ou de arroz	---	24 kg	---	---	---	---	---	---	---
Farelo de arroz ou de algodão	---	---	100 kg	---	---	---	---	---	---
Farelo de algodão	---	---	---	30-50 kg	---	---	---	---	---
Cal	120 kg (em 120 L de água)	---	---	---	---	---	---	---	---
Sulfato de amônia	48 kg (em 60 L de água)	20 kg	---	3-5 kg (em 500-600 L de água)	360 kg	---	---	---	---
Superfosfato	48 kg (em 152 L de água)	8 kg	---	---	190 kg	1,6 kg	---	---	---
Uréia	---	16 kg	6 kg	---	175 kg	1,85 kg	136 kg	4 kg	4 kg
Cloreto de potássio	---	4 kg	---	---	90 kg	0,58 kg	---	---	---
Carbonato de cálcio	---	30 kg	---	10 kg	800 kg	---	---	---	---
Gesso	---	24 kg	50 kg	10-15 kg	400 kg	4,90 kg	1134 kg	---	---
Calcário	---	---	---	---	190 kg	---	---	---	---
Massa total	2016 kg	2586 kg	2316 kg	1084 kg	40905 kg	148,93 kg	21429 kg	984 kg	974 kg

**Fonte:** tabela elaborada pelo autor a partir de informações obtidas nas obras Bononi et al., 1999, Ferreira (1998), Peil et al. (1996), Gibbons et al. (1991) e Andrade et al. (2008).

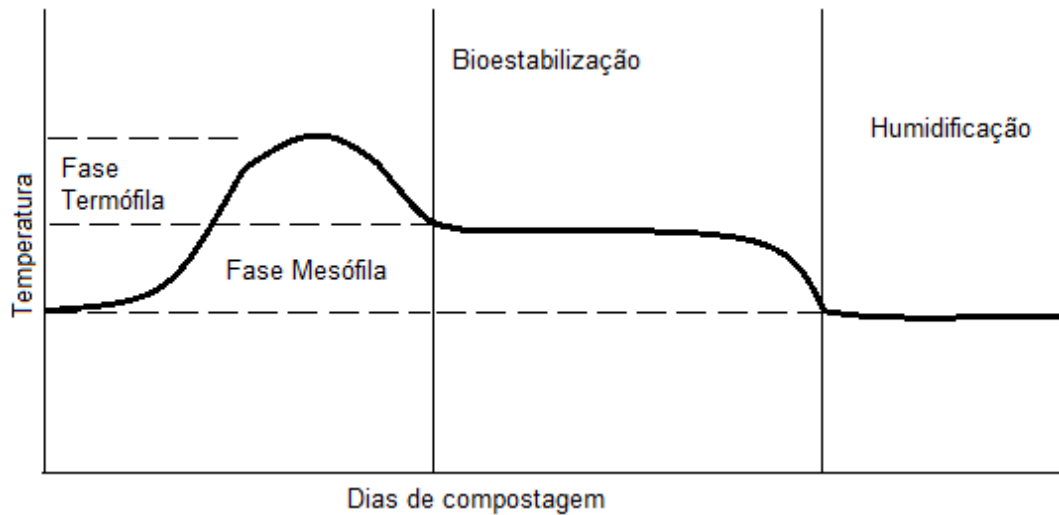
### 3.2.2.2 Compostagem (fase 1) – preparação do composto

O método de preparo do composto varia de acordo com a formulação utilizada, mas na sua maioria consiste na mistura dos materiais, umidificação da mistura para aproximadamente 70% e reviragens periódicas da pilha com a adição parcial de alguns dos componentes, sendo que este processo conduzido por um período de 14 a 21 dias (BONONI et al., 1999).

Para preparação do composto para compostagem e para condução do processo, deve-se dispor de uma área coberta, de maneira que a umidade do composto não seja afetada pelas chuvas e pelo calor do sol. O processo inicia-se com a mistura e umidificação dos ingredientes, formando pilhas retangulares, com lados compactos e centro afogado. Uma vez formada a pilha, a fermentação aeróbica começa pela formação de microorganismos nativos ao meio e liberação de calor, amônia e dióxido de carbono (FERREIRA, 1998 e EIRA, 2000).

À medida que a fermentação progride, a palha tende a amolecer e a pilha a compactar. Neste momento se realizam então as reviragens da pilha, com a finalidade de deixar exposta a parte que estava em baixo (com pouca presença de oxigênio), e levar para a parte central o material que estava na superfície (com mais oxigênio). Esta reviragem ocorre a cada dois ou quatro dias, possibilitando que microorganismos aeróbicos e anaeróbicos atuem simultaneamente no processo e de forma homogênea em todo o material (BONONI et al., 1999 e FERREIRA, 1998)

Segundo FERREIRA (1998), no início da decomposição tem-se uma fase mesófila com temperaturas entre 45 e 55°C. A partir do 10<sup>o</sup> ou 15<sup>o</sup> dia, a temperatura da pilha eleva-se passando para a fase termófila com temperaturas entre 55 e 75°C, onde predominará a presença de actinomicetos, bactérias e fungos termófilos e termotolerantes. Este aumento de temperatura somente será verificado se houver uma boa disponibilidade de oxigênio na pilha. Passada a fase termófila, o composto perde calor e retorna a uma segunda fase mesófila, já com outra composição química. Na Figura 1, observa-se a curva de temperatura durante o processo de decomposição, passando pelas etapas mesófila e termófila.

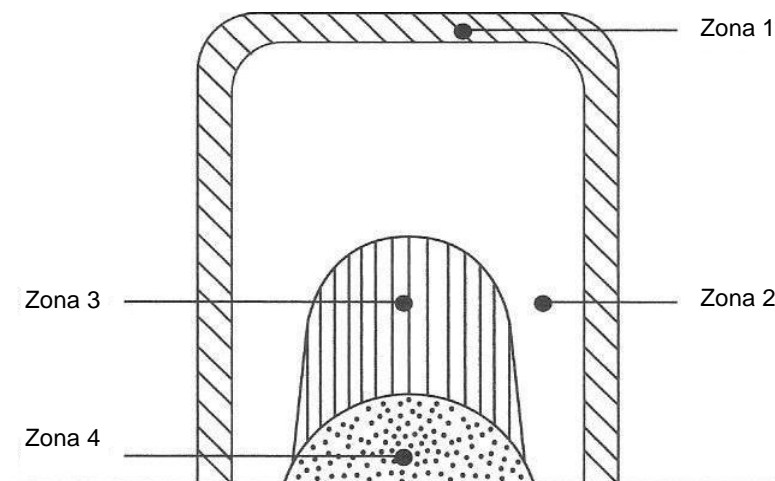


**Figura 1:** Curva padrão de temperatura ao longo do processo de decomposição.

**Fonte:** Ferreira, 1998.

Um número considerável de espécies de microorganismos é encontrado em vários estágios de compostagem em função da complexidade dos materiais compostos e das variações encontradas dentro de uma mesma pilha de compostagem (CHANG e MILES, 2004). Segundo Silva et al., (2009), toda esta interação da microbiota natural dos resíduos agrícolas durante o processo de compostagem, influencia diretamente na colonização do cogumelo.

A Figura 2, demonstra uma representação diagramática de uma leira de compostagem com os quatro pontos diferentes de temperaturas.



**Figura 2:** Representação diagramática de zoneamento em uma pilha de compostagem.

**Fonte:** Chang e Miles, 2004.



A zona 1, representada pela camada externa da pilha, sofre forte influência da temperatura ambiente, podendo por este motivo apresentar maiores variações, com tendência à estabilização em faixa próxima a 45°C. A zona 2 corresponde a uma faixa intermediária onde se verificam temperaturas na faixa de 45 a 60°C. A zona 3 corresponde à faixa central da pilha onde se atinge a temperatura mais elevada da pilha, que pode variar de 65 a 82°C. A zona 4 corresponde à parte inferior da pilha que fica submetida a condições anaeróbicas e uma temperatura na faixa de 55°C (FERREIRA, 1998 e CHANG e MILES, 2004).

Para a produção de *Agaricus brasiliensis*, Silva et al. (2009) desenvolveram um trabalho que visava isolar e identificar a microbiota presente no composto preparado a partir de bagaço de cana e capim coast-cross. As bactérias (principalmente *Bacillus*, *Paenibacillus* e espécies da família Enterobacteriaceae) foram os microrganismos predominantes durante todo o processo, com uma densidade populacional média de  $3,0 \times 10^8$  UFC/g. Os actinomicetos, principalmente os do gênero *Streptomyces*, estiveram bem representados, com uma densidade populacional de  $2,0$  a  $3,0 \times 10^8$  UFC/g. Os fungos filamentosos foram a classe de microrganismos com menor densidade populacional e menor diversidade, embora a espécie *Aspergillus fumigatus* estivesse presente durante todo o processo de compostagem e também após a pasteurização do composto.

Na Tabela 6 é apresentada uma lista de alguns dos gêneros comumente isolados neste processo de preparação de substrato, segundo Sparling et al. (1982), citado por Chang e Miles (2004, p. 100).

**Tabela 6:** Principais grupos de microrganismos isolados durante o processo de compostagem.

<b>Etapa</b>	<b>Bactérias</b>	<b>Actinomicetes</b>	<b>Fungos</b>
Mesófila	<i>Flavobacterium</i> spp.	<i>Streptomyces</i> sp.	<i>Mucor</i> sp.
Mesófila	<i>Pseudomonas</i> spp.	<i>Nocardia</i> sp.	<i>Aspergillus</i> spp.
Mesófila	<i>Serratia marcescens</i>	<i>Micropolyspora</i> sp.	<i>Penicillium</i> spp.
Mesófila	---	---	<i>Phyzopus stolonifer</i>
Termotolerante	<i>Pseudomonas</i> spp.	---	<i>Aspergillus fumigatus</i>
Termotolerante	<i>Bacillus licheniformis</i>	---	
Termófila	<i>Bacillus coagulans</i>	<i>Thermoactinomyces</i> spp.	<i>Mucor pusillus</i>
Termófila	<i>Bacillus stearothermophilus</i>	<i>Thermomonospora</i> spp.	<i>Humicola insolens</i>
Termófila	<i>Bacillus subtilis</i>	---	<i>Rhizomucor pusillus</i>
Termófila	---	---	<i>Talaromyces lanuginosa</i>
Termófila	---	---	<i>Humicola fuscoatra</i>

**Fonte:** Sparling et al., 1982, citado por Chang e Milles, 2004, p. 100.

Ao final da compostagem, ou seja, fermentação (fase 1), o substrato deve apresentar as seguintes características: umidade em torno de 70%; pH entre 7,5 e 8; coloração da palha de amarela a marrom, com manchas brancas de actinomicetos e outros microrganismos termófilos e uma redução no odor de amônia (STRAATSMA, 1994a e 1994b e STEINECK, 1987 apud EIRA, 2000, p. 6).

### 3.2.2.3 Compostagem (fase 2) – desinfestação do composto

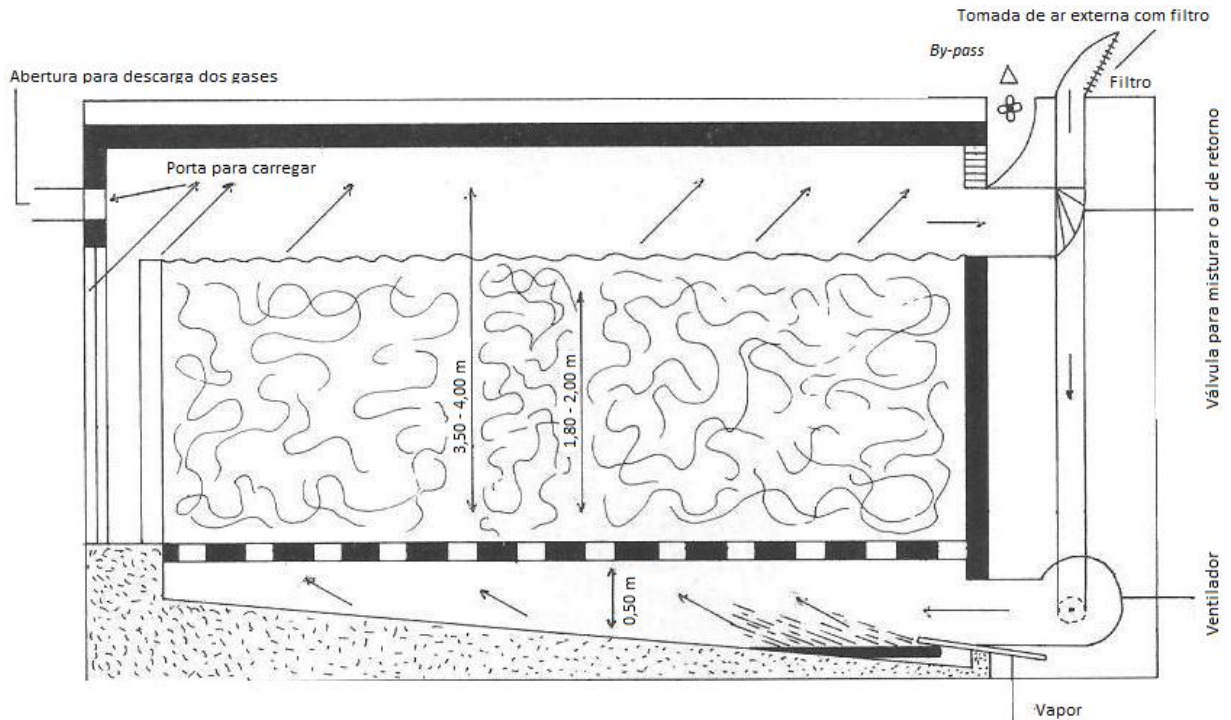
Para Chang e Miles (2004), os principais objetivos da segunda fase da compostagem são: eliminar os insetos e pragas produzidos com o substrato de compostagem durante a primeira fase, destruir os esporos de microrganismos contaminantes e ajustar a temperatura do substrato entre 50 e 55 °C, que promoverá a decomposição dos substratos por microrganismos termofílicos. Segundo Ferreira (1998), outra função importante desta etapa é remover a amônia formada, que é letal ao cogumelo para concentrações acima de 0,7 % e também, visa o favorecimento do crescimento de organismos termófilos e actinomicetos fixadores de nitrogênio.

Peil et al. (1996) realizou testes com composto para o cultivo do cogumelo *Agaricus bisporus*, submetendo estes a três métodos de desinfestação: pasteurização, fumigação com brometo de metila e autoclavagem. Seus estudos apontaram que a pasteurização demonstrou-se como o tratamento mais adequado, devido a apresentar maior produção de cogumelos por saco, maior número de fluxos e menor tendência a contaminação pelo fungo *Trichoderma* sp. Já a autoclavagem, obteve produção numericamente inferior aos demais tratamentos, mas apresentou um nível de contaminação semelhante á pasteurização.

Atualmente o método mais utilizado em escala produtiva é a pasteurização. No entanto, neste estudo, além da pasteurização, daremos destaque à técnica de autoclavagem, visto que este será o método utilizado para condução dos ensaios.

### **3.2.2.3.1 Pasteurização**

A pasteurização utilizada no processo de compostagem é normalmente realizada com o uso de uma sala ou túnel de pasteurização, a qual é construída normalmente em alvenaria com piso na forma de estrado para permitir a entrada de ar forçado ou vapor. Além do sistema de circulação de ar com uma capacidade de fornecer até 200 m<sup>3</sup> de ar/hora/tonelada de substrato, a sala deve possuir entrada para acoplar um termômetro para monitorar a temperatura interna (MOLENA, 1986; FERREIRA, 1998 e EIRA, 2000). Na Figura 3 é apresentada uma ilustração de um túnel de pasteurização e o seu esquema de funcionamento.



**Figura 3:** Túnel de pasteurização típico.  
**Fonte:** Molena, 1986

Diferentes processos de pasteurização são descritos na literatura, associando diferentes temperaturas, números de etapas e tempos de duração de cada etapa, como pode ser observado na Tabela 7.

**Tabela 7:** Tabela comparativa das fases e temperaturas de pasteurização apresentadas pelas literaturas.

Etapa	Ferreira, 1998		Bononi et al., 1999		EIRA, 2000		Altieri et al., 2009	
	Temp. (°C)	Tempo	Temp. (°C)	Tempo	Temp. (°C)	Tempo	Temp. (°C)	Tempo
Inicial	50 - 55	-	30 - 45	-	-	-	-	-
A	60 - 62	20 h	58 - 60	4 - 8 h	60 - 62	6 - 8 h	60	8 - 9 h
B	50 - 55	2 - 3 dias	56 - 58	8 - 12 h	45 - 50	5 - 7 dias	45 - 50	5 dias
C	-	-	45 - 50	6 - 10 dias	-	-	-	-
D	até 27	(*)	até -25 - 30	(**)	até 25	(**)	até 25	(*)

**Fonte:** Ferreira, 1998; Bononi et al., 1999; Eira, 2000 e Altieri et al., 2009. (\*) redução gradativa da temperatura. (\*\*) redução brusca da temperatura.

Bernardi (2010) realizou testes para avaliar o tempo de pasteurização da palha de arroz utilizado para a produção de *Pleurotus sajor-caju*, através da avaliação das variáveis de massa seca, produtividade e eficiência biológica. Bernardi concluiu que o menor tempo de pasteurização testado (30 minutos a 90-100 °C) já foi o suficiente para o cultivo de *Pleurotus sajor-caju*, obtendo os melhores resultados com relação à massa fresca, produtividade e eficiência biológica.

### 3.2.2.3.2 Autoclavagem

A autoclavagem de substratos para o cultivo de *Agaricus bisporus* não é prática usual, exceto em pesquisas e na manutenção de espécies em laboratórios. Peil et al. (1996) confirmaram a tendência de que o fungo possa ser produzido em substrato estéril, entretanto, o crescimento micelial em compostos autoclavados é inferior em relação a compostos pasteurizados.

Mesmo sendo possível o desenvolvimento do cogumelo em ambiente estéril, o uso deste tipo de equipamento em escala de produção para desinfecção de composto torna-se complexo em função da necessidade de uma autoclave de grandes proporções, além das implicações práticas que o uso deste método acarretaria.

O processo de autoclavagem consiste em colocar o material em uma autoclave e programar este para determinada condição de temperatura, pressão e tempo. Segundo Wood e Smith (1987), citado por Peil et al. (1996), usualmente o material é autoclavado em pequenas porções de 540 g por 4 horas a 95°C ou 1 hora a 120°C. Abaixo segue um resumo de algumas utilizações práticas deste método, aplicado em testes que visavam um posterior cultivo de cogumelos.

Pedra e Marino (2006) utilizaram a técnica de esterilização em autoclave para avaliar o efeito da suplementação do substrato à base de serragem da casca de coco, em condições axênicas, utilizando para isto autoclavagem por 40min por duas vezes, com intervalo de 24h, a 120° C. Após a esterilização e resfriamento do substrato, foi realizada a inoculação em condições assépticas (câmara de fluxo laminar).

Bernardi (2010) estudou a utilização de substrato para o cultivo axênico e pasteurizado do cogumelo *Pleurotus* spp., utilizando duas técnicas para esterilização com uso de autoclave: para testes em pequena escala (tubos de ensaio) utilizou temperatura de 120-121°C (1 atm) por 45 minutos; e em grande escala (frascos de 250 g) utilizou duas autoclavagens a 121°C (1 atm) por 60 min., com intervalo de 48h.

Nos testes realizados por Peil et al. (1996) que visavam testar os três métodos de desinfestação- pasteurização, fumigação com brometo de metila e autoclavagem, para posterior cultivo do cogumelo *Agaricus bisporus* - foi utilizada a seguinte condição: o composto foi acondicionado em sacos de pano contendo 30 kg, sendo este distribuído em uma camada de 20 cm de altura e em seguida, os sacos foram autoclavados a 121°C (1,5 atm) por 3 horas.

### **3.3 Produção de cogumelo Champignon**

#### **3.3.1 Semeadura ou inoculação**

Segundo Ferreira (1998), o composto pronto para ser inoculado deve apresentar entre 12 e 15% de proteínas, 2,0 a 2,4 % de nitrogênio, 68 a 72% de umidade e ainda, alto teor de celulose e lignina (relação C/N na faixa de 17/1).

Imediatamente após a pasteurização, quando a temperatura do composto estiver entre 25 e 30°C, é feita a inoculação da semente simultaneamente ao enchimento do saco. A quantidade de matriz a ser utilizada vai definir a velocidade de colonização do micélio. A quantidade usualmente utilizada é de 5 a 7 litros de matriz por tonelada de composto, ou 0,5 a 1,0% de matriz com relação à massa úmida do composto (BONONI et al., 1999).

Em estudos mais recentes, um percentual maior de sementes de micélio de *Agaricus bisporus* tem sido utilizado como forma de acelerar o processo. Altieri (2009) utilizou 0,8% de semente em seu estudo sobre avaliação da performance de resíduos da fábrica de azeite sólido como um componente do substrato de cultivo comercial de *Agaricus bisporus*. Eira (2000) define como percentual ideal a faixa de 1 a 2 % de semente com relação à massa do composto úmido. Já Peil et al. (1996), chegou a utilizar 6% de semente para a realização de testes de métodos de desinfestação de composto.

Um fator muito importante a ser considerado é que a inoculação deve ser feita em um ambiente em boas condições de higiene, utilizando instrumentos, mãos e roupas limpas (MOLENA, 1986 e BONONI et al., 1999).

Após a inoculação, deve ser feita uma compactação do composto já colocado no saco. Esta atividade é muito importante para a produção uniforme de cogumelo por toda a superfície do composto. Uma compactação mal feita permite que os espaços fiquem maiores em certos locais, tendendo a concentrar a produção de cogumelos em um único ponto, prejudicando o desenvolvimento individual e dificultando a colheita (BONONI et al., 1999).

### **3.3.2 Incubação**

A fase de incubação corresponde à fase em que o micélio do cogumelo vai crescer e colonizar o composto (BONONI et al., 1999). Segundo BONONI et al., 1999, Ferreira (1998) e Eira (2000), nesta fase os sacos de composto deverão permanecer fechados e dispostos em prateleiras, dentro da casa de cultivo com a seguinte condição ambiental:

- A temperatura ambiente deverá ser controlada entre 22 e 23°C, para manter a temperatura do composto na faixa de 24 a 25°C;
- A umidade do ambiente deverá ser mantida acima de 90%;
- O teor de gás carbônico em torno de 1,5%. Para isto deverá ser promovida uma ventilação leve, em torno de 20 m<sup>3</sup> de ar por tonelada de composto por hora, ou aproximadamente 2 a 3 vezes o volume da sala por dia.

A umidade controlada do ambiente deve apenas evitar o ressecamento do composto, que deverá naturalmente suprir o teor necessário para o crescimento dos cogumelos. Desta forma, apenas as paredes e o chão da sala devem ser molhados para atingir a umidade adequada, uma vez que os sacos nesta fase devem permanecer fechados (BONONI et al., 1999 e FERREIRA, 1998).

O desenvolvimento do micélio ocorre dentro de um prazo variável, de acordo com o tipo de inóculo, a qualidade do composto e as condições da câmara de cultivo; oscilando normalmente entre 14 e 21 dias, quando fica nítida a ocorrência de uma teia branca, lembrando um emaranhado de fios de seda sobre a superfície do composto, momento em que se procede à cobertura do substrato colonizado com solo ou outros materiais (EIRA, 2000).

### 3.3.3 Terra de cobertura

Quando a colonização se completar, é o momento de acrescentar uma camada de 2 a 4 cm de terra sobre a superfície do composto (terra de cobertura). Esta camada serve de proteção para a manutenção da umidade do composto, favorece a frutificação, propicia o crescimento de bactérias, fornece certo teor de ferro, serve de apoio aos cogumelos que irão se formar, protege contra a variação excessiva de temperatura e penetração de parasitas (BONONI et al., 1999 e FERREIRA, 1998).

A turfa é a cobertura ideal, mas como nem sempre esta pode ser encontrada no Brasil, ela pode ser substituída por qualquer terra agriculturável, que deve ser peneirada, e ajustada quanto a seu pH (entre 7,0 e 7,5 pela adição de carbonato de cálcio) e sua umidade (entre 68 e 70%) (BONONI et al., 1999).

Segundo Eira (2000), a camada de cobertura deverá ser submetida a processos de pasteurização ou desinfecção com vapor ou formol, para evitar nematóides e outros problemas da fungicultura. BONONI et al., 1999 apresenta as alternativas para esterilização da terra de cobertura como sendo a utilização de vapor de água, formol ou brometo de metila (proibido no Brasil desde 2006).

Silva et al. (2007) realizaram estudo visando isolamento e identificação de bactérias presentes nos solos de cobertura utilizados no cultivo do cogumelo *Agaricus blazei* Murril. Para isto foi avaliada a eficiência da desinfestação com vapor d'água e formol nos solos de cobertura. O tratamento com formol apresentou maior redução no número de bactérias na terra de barranco e solo de pastagens, enquanto que no solo hidromórfico, oriundo de várzea, nenhum dos tratamentos foi eficiente para reduzir a comunidade microbiana. Foram identificadas bactérias do gênero *Pseudomonas*, *Salmonella*, *Enterobacter* e *Shigella*, dentre outras, denotando que os tratamentos de desinfestação não eliminam bactérias potencialmente benéficas, mas também não eliminam bactérias potencialmente patogênicas.

Após utilizar estas técnicas é preciso aguardar alguns dias para que o micélio se recomponha e, então, deve-se aumentar a ventilação e reduzir a temperatura para a indução dos primórdios (EIRA, 2000).



### **3.3.4 Condições da câmara de cultivo após colocação da terra de cobertura**

Após colocação da terra de cobertura, as condições ambientais da sala de cultivo devem ser alteradas. Segundo BONONI et al., 1999, a partir desta fase a temperatura ambiente deverá ser controlada entre 16 e 18°C, a ventilação deverá ser aumentada para aproximadamente 220 m<sup>3</sup>/h/t de composto e a umidade do ambiente deverá ser mantida elevada. Neste momento também se iniciam as regas, para que a terra de cobertura se mantenha sempre úmida.

Após 15 a 30 dias da colocação da terra de cobertura, começam a se formar pequenos brotos na superfície dos sacos. Neste momento e por um período de aproximadamente uma semana, deve se suspender as regas da terra mantendo a umidade apenas através da manutenção da umidade elevada do ambiente (BONONI et al., 1999).

### **3.3.5 Colheita**

Os cogumelos são colhidos ao atingir o seu maior tamanho e antes da abertura ou rompimento do véu. Esta fase inicia tipicamente entre o 16º e o 35º dia após a colocação da terra de cobertura. As floradas sucessivas ocorrem, tipicamente, a cada três a cinco dias, durante aproximadamente 45 a 60 dias, dependendo do ambiente e da espécie do *Agaricus* utilizada (BONONI et al., 1999 e FERREIRA, 1998).

Segundo Ferreira (1998), a produtividade média sem grande investimento em estufa para controle total de ambiente é de 1,5 a 2,0 kg para cada saco de 10 kg de composto ou uma média de 4 a 6 kg/m<sup>2</sup>.

## **3.4 A disponibilidade de insumos para compostagem na região do Vale do Rio Taquari**

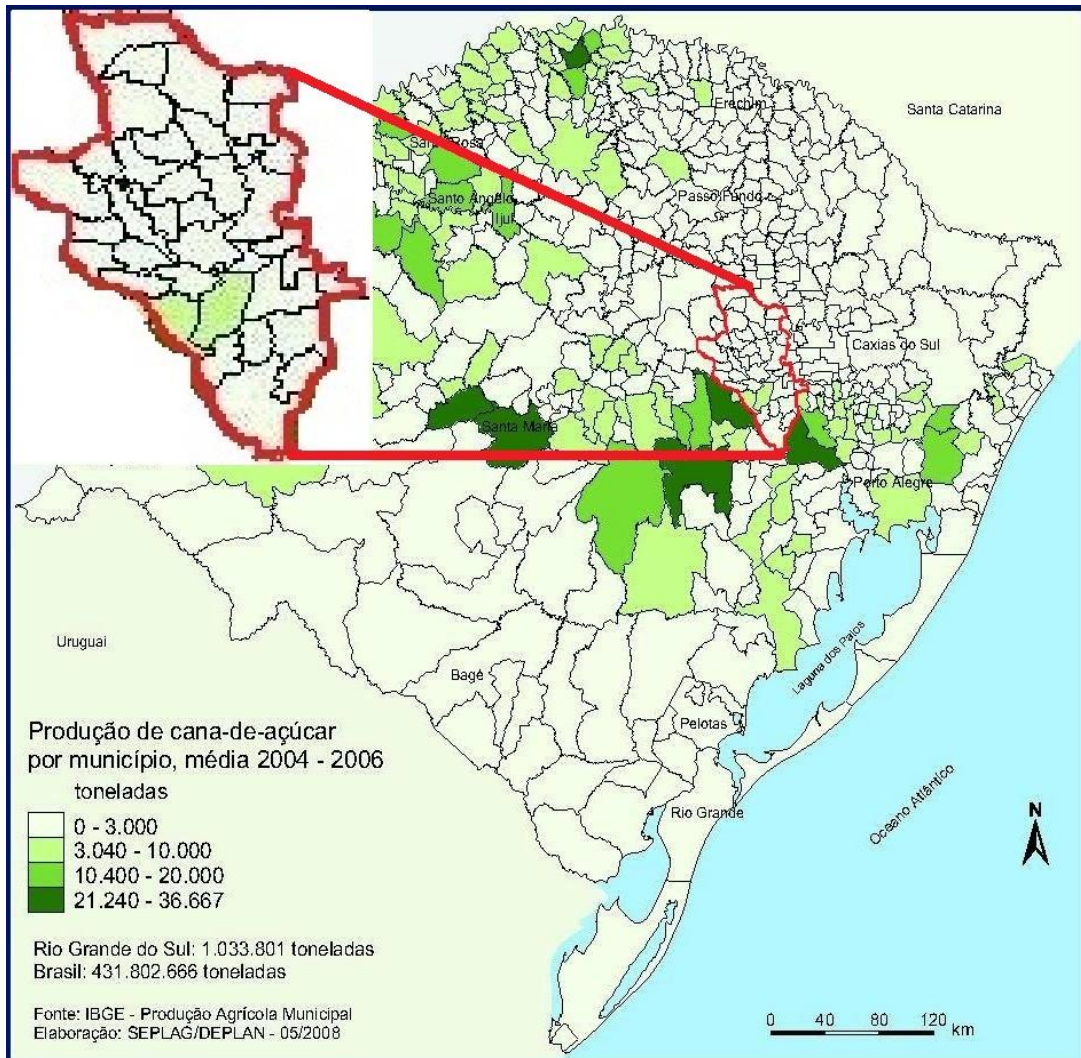
Este item apresenta os resultados da pesquisa exploratória que foi desenvolvida com o objetivo de definir as alternativas de materiais residuais ou gramíneas de corte cultivadas na região a serem utilizadas como substrato nos testes de formulação dos compostos para produção de cogumelo.

Andrade et al. (2008) analisaram a produtividade, a eficiência biológica e a análise nutricional de cogumelo Champignon, obtidos com compostos produzidos a partir de misturas de bagaço de cana de açúcar com palha de aveia, de capim tifton e *coast-cross* para quatro linhagens de cogumelo Champignon. Os resultados indicaram que a produtividade dos cogumelos foi influenciada pela linhagem e pelo tipo de composto formulado.

Ainda no ano de 1995, Peil et al. (1995) desenvolveram estudos com três formulações de compostos (à base de palha de arroz, palha de trigo e esterco de cavalo) disponíveis na região de Pelotas/RS. Não eram conhecidas pesquisas relativas ao aproveitamento de matérias-primas para formulação de compostos, apesar do clima favorável e da abundância de resíduos vegetais da agricultura que essa região apresentava. Passados mais de quinze anos, ainda pode-se afirmar que são escassos os estudos direcionados ao aproveitamento de resíduos agrícolas com o objetivo de produção de composto para o cultivo de cogumelos, visto que pouco se desenvolveu este cultivo no estado do Rio Grande do Sul como um todo.

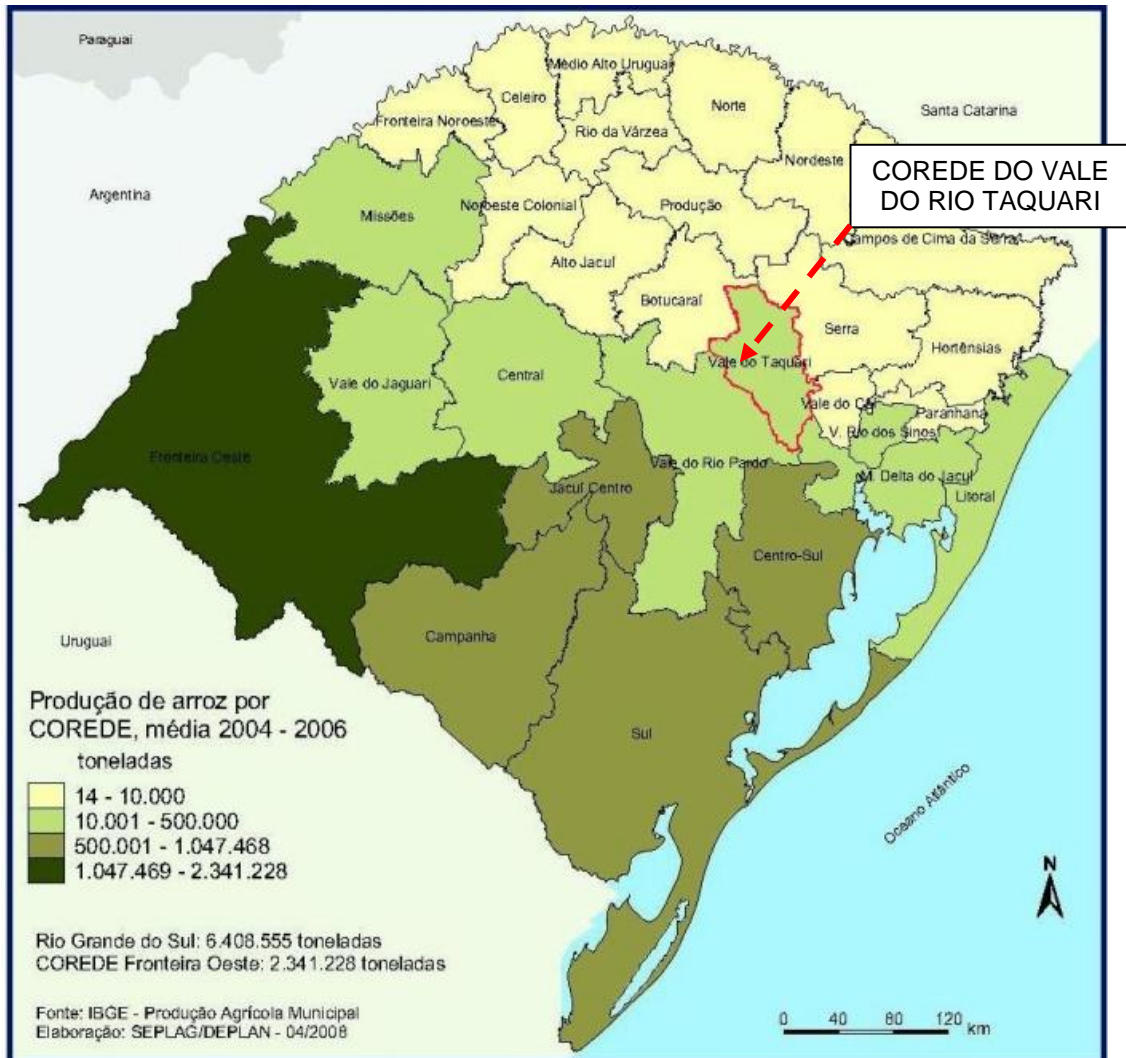
O substrato comumente utilizado no Brasil para produção de cogumelos comestíveis, especialmente nas regiões produtoras do estado de São Paulo, utiliza como matéria prima principal o bagaço de cana de açúcar. No entanto, a produção de cana de açúcar no Estado do Rio Grande do Sul é pouco significativa, tendo importância por estar associada às atividades relacionadas à criação de gado e ao processamento artesanal de subprodutos como o melado, a rapadura, o açúcar mascavo e a cachaça, destacando-se as regiões das Missões e Médio Alto Uruguai, que juntas contribuem com pouco mais de um terço da produção gaúcha (Secretaria de Planejamento e Gestão do Rio Grande do Sul - SEPLAG, 2010).

Na Figura 4 temos o mapa da produção média de cana de açúcar por município no período de 2004 a 2006, com destaque para a região do Vale do Rio Taquari, onde podemos verificar que a grande maioria dos municípios se enquadra no grupo de menor produção do estado, com produção máxima de 3 mil toneladas.

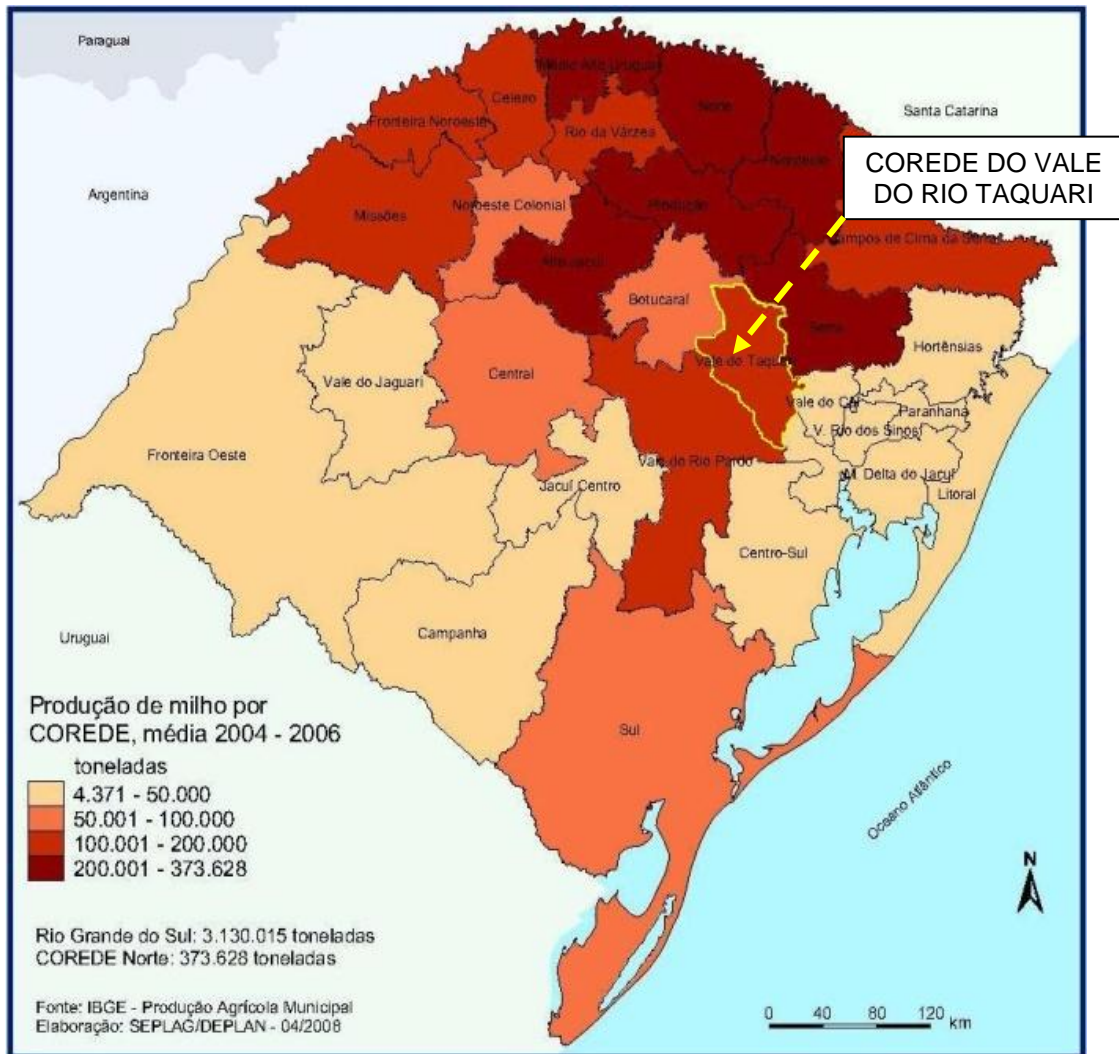


**Figura 4:** Produção de cana de açúcar por município, média 2004 – 2006, com destaque para a região do Vale Rio do Taquari.  
**Fonte:** SEPLAG, 2010.

A região do Vale do Rio Taquari tem sua base agrícola fundada em cinco produtos dominantes: fumo, milho, arroz, soja e mandioca. Destes materiais, o milho e o arroz produzem sobras de palhas em maior quantidade e são de fácil obtenção, sendo estas então escolhidas para ser o alvo do estudo. Nas figuras 5 e 6 podemos ver que a produção de arroz e milho na região do Vale do Rio Taquari encontra-se numa posição intermediária em relação as demais regiões, com produção média de 10.000 a 500.000 toneladas de arroz e de 100.000 a 200.000 toneladas de milho (RIO GRANDE DO SUL, 2010).



**Figura 5:** Produção média de arroz por COREDE no período de 2004 a 2006 com destaque para a região do Vale do Rio Taquari.  
**Fonte:** SEPLAG, 2010.



**Figura 6:** Produção média de milho por COREDE no período de 2004 a 2006 com destaque para a região do Vale do Rio Taquari.

**Fonte:** SEPLAG, 2010.

O Vale do Rio Taquari pertence à regional da EMATER/RS-ASCAR de Lajeado, que abrange também os vales do Rio Pardo, Caí e Alto da Serra do Botucaraí. A região engloba 64 municípios divididos em sete microrregiões, com municípios agregados pela similaridade de suas matrizes produtivas, etnias, organização social e política. O perfil de produção agrícola da região apresenta como principais culturas o milho, com 117,5 mil ha de área cultivada, a soja, com 21 mil ha, o arroz, com 11,6 mil ha, e o feijão, com 5,2 mil ha (EMATER-RS, 2012). O município de Taquari-RS, onde foi conduzido o presente estudo, apresenta um perfil um pouco diferenciado do conjunto de municípios que compõem esta região, sendo que a Tabela 8 apresenta as principais culturas deste município.



**Tabela 8:** Área plantada e produtividade média do município de Taquari-RS.

<b>Cultura</b>	<b>Área plantada (ha)</b>	<b>Produtividade média (kg / ha)</b>
Arroz	2.750	8.100
Milho	1.500	3.900
Soja	20	750
Trigo	20	700
Feijão	15	764

**Fonte:** Tabela elaborada pelo autor a partir de informações obtidas do IBGE (Produção Agrícola Municipal – PAM, 2009), disponíveis no site <http://www.emater.tche.br/site/servicos/serie.php>.

É importante considerar também que o perfil agrícola da região vem passando por grandes alterações, especialmente com relação ao milho. Esta mudança significativa se deu especialmente nos últimos dois anos, quando se teve a liberação no Brasil da produção de espécies transgênicas; sendo que atualmente mais de 50% do milho plantado no Brasil é geneticamente modificado (PORTAL DO AGRONEGOCIO, 2010). Como o uso desta tecnologia é relativamente nova, pouco se sabe com relação ao desempenho dos resíduos destas espécies para a produção de composto.

O capim elefante do tipo cameron (*Pennisetum purpureum*), é uma gramínea de corte muito adaptada à região e com alta produção de massa por hectare, com uma produção média de 50 toneladas (verde) por ha / ano (MITIDIARI, 1983). Pelas suas próprias características físicas, o capim elefante "solto" é um material de baixa densidade, com aproximadamente 50-60 kg/m<sup>3</sup> em média. A Tabela 9 apresenta a composição média desta gramínea em comparativo com o bagaço de cana de açúcar, onde se pode perceber um teor bem superior de nitrogênio, característica importante para o cultivo de cogumelos (PORTAL DE AGRONOMIA, 2012).

**Tabela 9:** Composição média do capim elefante e do bagaço de cana.

<b>Elementos</b>	<b>Capim elefante</b>	<b>Bagaço de cana</b>
Carbono (%)	41,2	46,7
Hidrogênio (%)	5,6	5,9
Nitrogênio (%)	1,8	0,9
Oxigênio (%)	51,4	46,7
Umidade (%)	75,8	55,4
Carbono fixo (%)	8,4	15,0
Matéria volátil (%)	82,6	73,8
Cinzas (%)	10,9	11,3

**Fonte:** Portal de Agronomia, 2012.

### 3.5 Planejamento experimental

Para se medir o desempenho de experimentos, são utilizados os efeitos de uma ou mais variáveis sobre uma resposta. Por meio do planejamento fatorial se obtém uma informação mais útil e mais precisa sobre o sistema estudado, especialmente para planejamentos fatoriais de dois níveis. Os planejamentos ou projetos e os modelos fracionários deles derivados, são econômicos e fáceis de usar, e podem fornecer uma grande quantidade de informações valiosas (ERIKSSON et al., 2008)

O planejamento experimental é usado em muitos setores da indústria, especialmente no desenvolvimento e otimização de processos de fabricação. Os exemplos típicos são a produção de motores na indústria automobilística, a síntese de compostos na indústria farmacêutica e a otimização de instrumentos analíticos, existindo muitas aplicações citadas na literatura científica que descreve a otimização com uso de espectrofotômetros e equipamentos de cromatográfica (ERIKSSON et al., 2008).

A essência de um bom planejamento consiste em projetar um experimento de forma que ele seja capaz de fornecer exatamente o tipo de informação que se procura. Para que isto ocorra é importante definir primeiramente quais são os fatores e as respostas de interesse. Os fatores em geral, são as variáveis que o experimentador tem condições de controlar, que podem ser qualitativos, como o tipo de catalisador, ou quantitativos, como a temperatura (BOX et al., 1978; BARROS NETO et al., 2003 e ERIKSSON et al., 2008).

As respostas nos informam sobre as propriedades e as condições gerais do sistema estudado ou processo, revelando se o sistema se comporta de uma maneira saudável ou não. As respostas obtidas também poderão ser qualitativas ou quantitativas e dependendo do problema, poderá se obter várias respostas de interesse, que talvez precisem ser consideradas simultaneamente (BARROS NETO et al., 2003 e ERIKSSON et al., 2008).

A Figura 7 representa um sistema ligando os fatores às respostas, onde as respostas são as variáveis de saída do sistema, que correspondem às respostas de interesse, e que poderão ser afetadas por modificações provocadas nos fatores.



**Figura 7:** Sistema representando uma função ligando os fatores às respostas.  
**Fonte:** Barros Neto et al., 2003 e Eriksson et al., 2008.

### 3.5.1 Técnicas utilizadas para o planejamento experimental

Geralmente, um experimentador não parte diretamente para a otimização. Após identificar todos os fatores e respostas, o próximo passo é definir o objetivo que se pretende alcançar com os experimentos, para que então se possa escolher o planejamento mais apropriado (BARROS NETO et al., 2003 e ERIKSSON et al., 2008). Na Tabela 10, temos a evolução de um estudo empírico, sendo que o conhecimento do sistema estudado aumenta à medida que se percorre a tabela de cima para baixo.

**Tabela 10:** A evolução de um estudo empírico.

Objetivo	Técnica
Triagem de variáveis	Planejamentos fracionários
Avaliação da influência de variáveis	Planejamentos fatoriais completos
Construção de modelos empíricos	Modelagem por mínimos quadrado
Otimização	RSM, simplex

**Fonte:** Barros Neto et al., 2003.

#### 3.5.1.1 Planejamentos fracionários

Uma dificuldade para uso dos planejamentos fatoriais completos é o grande número de ensaios que deve ser executado. Estes ensaios nem sempre apresentam resultados úteis ou informações interessantes, e por este motivo, podem representar um desperdício de tempo e recursos. Os planejamentos fatoriais fracionários são utilizados basicamente quando se tem pouca informação sobre a amostra e sobre



quais são as variáveis mais importantes para o sistema em estudo. A triagem é uma técnica utilizada para descartar estas variáveis não significativas, para não perder mais tempo e dinheiro com elas. Sobre este contexto, os planejamentos fracionários são extremamente econômicos e podem ser usados para estudar dezenas de fatores de uma só vez (BARROS NETO et al., 2003 e BRERETON, 2003).

O uso de planejamentos fatoriais fracionários também é recomendado para os casos em que se têm muitos fatores envolvidos, tornando o número de interações de ordem alta, o que aumenta drasticamente com o número de fatores. Na maioria dos casos, essas interações têm valores pequenos e os efeitos não são significativos, sendo que determinar o seu valor não é motivo suficiente para fazer todos os ensaios de um planejamento completo (BARROS NETO et al., 2003).

Como exemplo de aplicação da técnica de planejamento fatorial fracionário, pode-se citar a dissertação de mestrado sobre secagem e resfriamento a vácuo de cogumelos comestíveis da espécie *Pleurotus ostreatus*, de Apati (2004). Nesta dissertação foram avaliados os parâmetros de reidratação desta espécie de cogumelo comestível utilizando um planejamento experimental fracionado  $3^{3-1}$ , onde as variáveis estudadas foram a temperatura de secagem (40, 50 e 60 °C), a temperatura da água de reidratação (25, 55 e 85°C) e o tempo de imersão na água (30, 75 e 120 minutos).

### 3.5.1.2 Planejamentos fatoriais completos

Os planejamentos fatoriais completos são projetos de triagem, e são chamados completos porque todos os pontos possíveis são investigados, através da realização de experimentos em todas as possíveis combinações dos níveis dos fatores. Cada um desses experimentos em que o sistema é submetido a um conjunto de níveis definidos (por exemplo: temperatura de 60°C e catalisador A) corresponde a um ensaio experimental. Isto corresponde a dizer, por exemplo, que o efeito do fator temperatura em quatro níveis (50°C, 60°C, 70°C e 80°C), e o efeito de um catalisador em três níveis (A, B e C), resultam em um planejamento  $4 \times 3 = 12$  ensaios diferentes, e o planejamento é chamado de fatorial  $4 \times 3$ . Em geral, se houver  $n_1$  níveis do fator 1,  $n_2$  do fator 2, ..., e  $n_k$  do fator k, o planejamento será um fatorial  $n_1 \times n_2 \times \dots \times n_k$ . (BARROS NETO et al., 2003 e ERIKSSON et al., 2008).

Maio et al. (2003) em seu trabalho que avaliou a influência da composição do substrato na velocidade de crescimento, na eficiência biológica e na composição centesimal do cogumelo *Pleurotus ostreatus* utilizou um planejamento fatorial completo  $2^3$ , tendo como variáveis o pH e as concentrações de farelo de arroz e inóculo em relação ao peso úmido de substrato. A Tabela 11 corresponde à matriz das variáveis codificadas por Maio et al. (2003) para o planejamento fatorial  $2^3$  e os respectivos valores das variáveis.

**Tabela 11:** Matriz das variáveis codificadas do Planejamento Fatorial  $2^3$  e os respectivos valores das variáveis.

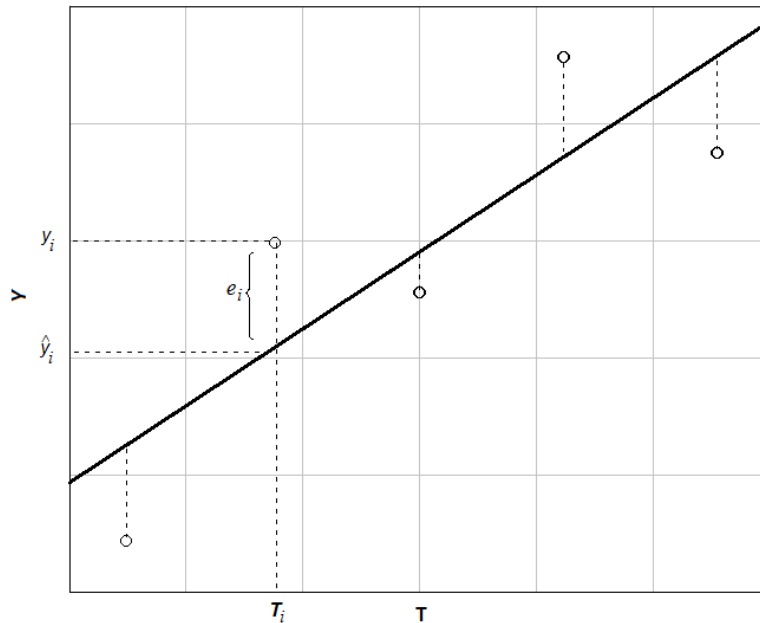
Experimento	Conc. de inóculo		FA		pH	
	X <sub>1</sub>	%	X <sub>2</sub>	%	X <sub>3</sub>	
1	-1	5	-1	10	-1	7
2	+1	10	-1	10	-1	7
3	-1	5	+1	20	-1	7
4	+1	10	+1	20	-1	7
5	-1	5	-1	10	+1	9
6	+1	10	-1	10	+1	9
7	-1	5	+1	20	+1	9
8	+1	10	+1	20	+1	9

Onde: X1: Variável codificada para concentração de inóculo; X2: Variável codificada para concentração de farelo de arroz; X3: Variável codificada para o pH de cultivo; FA: Farelo de arroz; conc.: Concentração.

Fonte: Maio et al., 2003.

### 3.5.1.3 Modelagem por mínimos quadrados

Desejando-se obter uma descrição mais detalhada, isto é, obter modelos mais sofisticados, pode-se passar a empregar a modelagem por mínimos quadrados. A modelagem de ajuste por mínimos quadrados, em termos práticos significa minimizar a distância global dos pontos em relação à reta, isto é, minimizar o comprimento total dos segmentos verticais na Figura 8. A maneira tradicional de se obter este resultado é localizar a reta de tal maneira que a soma dos quadrados dos resíduos seja mínima. Na Figura 8 temos os resíduos deixados por um modelo linear, sendo que um resíduo é a diferença entre um valor observado e a sua estimativa de acordo com o modelo (BARROS NETO et al., 2003).



**Figura 8:** Resíduos deixados por um modelo linear.  
**Fonte:** Barros Neto et al., 2003.

### 3.5.1.4 Metodologia de superfícies de resposta (RSM), simplex

A metodologia de superfície de resposta (ou RSM, de *Response Surface Methodology*) é uma técnica de otimização baseada em planejamentos fatoriais que foi introduzida pelo estatístico George Edward Pelham Box nos anos cinqüenta, e que desde então tem sido usada com grande sucesso na modelagem de diversos processos industriais. A metodologia de superfície de resposta tem duas etapas distintas (modelagem e deslocamento), que são repetidas tantas vezes quantas forem necessárias, com o objetivo de atingir uma região ótima da superfície investigada (BARROS NETO et al., 2003).

O simplex, é uma técnica de otimização diferente, onde o objetivo é simplesmente chegar ao ponto ótimo, dispensando a construção de um modelo. Segundo Spendley et al. (1962), citado por Barros Neto et al., (2003, p. 350), o simplex é sempre uma figura geométrica regular, cujas dimensões não variam ao longo do processo de otimização, não sendo por este motivo um método muito eficiente.

### 3.5.1.5 Planejamento fatorial para misturas

Outro tipo importante do planejamento fatorial é o aplicado ao estudo de misturas. Este tipo de planejamento fatorial apresenta diferenças importantes com relação aos outros planejamentos, sendo que a principal diferença é que a soma das proporções dos diferentes componentes de uma mistura é sempre 100% (BARROS NETO et al., 2003 e ERIKSSON et al., 2008). A Equação 1 representa uma mistura qualquer de “q” componentes, onde “ $x_i$ ” representa a proporção do  $i$ -ésimo componente. Esta equação retira um grau de liberdade das proporções, de forma que para especificar a composição da mistura, somente precisa-se fixar as proporções de “q - 1” componentes

$$\sum_{i=1}^q x_i = 100\% = 1, \quad \text{Eq. (1)}$$

A partir de um delineamento de misturas, a resposta ou a propriedade muda somente quando são feitas alterações nas proporções dos componentes que fazem parte dessa mistura. Portanto, a finalidade principal de se utilizar essa metodologia é verificar como as respostas ou propriedades de interesse são afetadas pela variação das proporções dos componentes da mistura. Nesse caso, as proporções dos componentes ( $X_i$ ) não são independentes, pois sua soma deve totalizar 100% (CORNELL, 1990 apud CAMPOS et al., 2006).

Em geral, para modelagem de misturas utilizam-se modelos lineares, quadráticos ou cúbicos, que usam o mesmo número de ensaios que o número de coeficientes que se quer estimar. Este método recebeu nome próprio na literatura, sendo conhecido como “planejamento em rede simplex” e sendo utilizado principalmente para misturas de três componentes. Neste caso, devido à particularidade das misturas ternárias serem representadas por apenas uma mistura, o planejamento é conhecido como “centróide simplex” (HILLIG et al., 2003).

Os modelos lineares, quadráticos ou cúbicos são expressos conforme as equações (2), (3) e (4), segundo Barros Neto et al. (2003), Hillig et al. (2003) e Brereton (2003).

$$Y_i = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 \quad \text{Eq. (2)}$$

$$Y_i = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 \quad \text{Eq. (3)}$$

$$Y_i = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde:

$Y_i$  = corresponde á variável de resposta investigada;

$b_i$  = coeficientes;

$x_i$  = proporção de cada espécie na mistura.

Cafaggi et al. (2002) desenvolveu um estudo com o objetivo de demonstrar a aplicação de um planejamento fatorial de misturas para um problema de formulação de produtos farmacêuticos. Os resultados demonstraram a eficiência deste método que facilmente detectou, com um mínimo de esforço experimental, os efeitos dos componentes sobre as propriedades físicas de uma formulação farmacêutica, apontando como ponto crítico a queda de viscosidade súbita, causada pela combinação de valores mais elevados de etanol e álcool tetrahidrofurfúril e com valores mais baixos de Poloxamer 407<sup>®</sup>.

### 3.5.2 Cálculo dos coeficientes de resposta

#### 3.5.2.1 Coeficiente para modelo Linear

O coeficiente para modelo linear " $y_i$ " será igual ao coeficiente " $b^*_i$ ". Isto ocorre porque quando  $(x_1, x_2, x_3) = (1, 0, 0)$  tem-se " $y_1 = b^*_1$ ". Na Figura 9, os vértices do triângulo de base, representado pelos pontos 1, 2 e 3, correspondem aos coeficientes, determinado a partir das respostas medidas para os componentes puros (BARROS NETO et al., 2003).

#### 3.5.2.2 Coeficiente para modelo quadrático

Para construção de um modelo quadrático precisa-se de pelo menos seis ensaios distintos, sendo que três destes correspondem aos ensaios dos componentes puros, cujos cálculos dos coeficientes já são apresentados no subitem anterior. Os outros três ensaios são representados na Figura 9 através dos pontos 4,

5 e 6 e o seus cálculos (“ $b^*_{ij}$ ”), são obtidos a partir dos ensaios feitos com os componentes puros “i” e “j” e com a mistura binária de “i” e “j” na relação de 50% - 50%, conforme apresentado nas equações 5, 6 e 7 (BARROS NETO et al., 2003).

$$b^*_{12} = 4y_{12} - 2(y_1 + y_2) \quad \text{Eq. (5)}$$

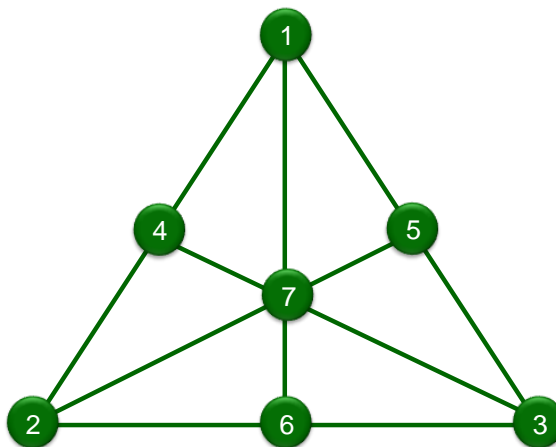
$$b^*_{13} = 4y_{13} - 2(y_1 + y_3) \quad \text{Eq. (6)}$$

$$b^*_{23} = 4y_{23} - 2(y_2 + y_3) \quad \text{Eq. (7)}$$

### 3.5.2.3 Coeficiente para modelo cúbico

Com apenas a adição de mais um ensaio ao modelo quadrático que represente uma mistura dos três componentes, que na figura 9 é representado pelo ponto 7, pode-se considerar este como sendo um modelo cúbico especial, que é chamado de *centróide simplex*. O cálculo do coeficiente do termo cúbico segue a equação 8, enquanto os demais coeficientes têm o mesmo valor do modelo quadrático (BARROS NETO et al., 2003 e BRERETON, 2003).

$$b^*_{123} = 27y_{123} - 12(y_{12} + y_{13} + y_{23}) + 3(y_1 + y_2 + y_3) \quad \text{Eq. (8)}$$



**Figura 9:** Planejamento de um modelo linear, quadrático e cúbico de mistura de três componentes.  
**Fonte:** Brereton, 2003.

### 3.6 Análise de Componentes Principais

A Análise de Componentes Principais (PCA) consiste numa transformação da matriz de dados com o objetivo de representar as variações presentes em muitas variáveis, através de um número menor de fatores. Constrói-se um novo sistema de eixos (denominados rotineiramente de fatores, componentes principais, variáveis latentes ou ainda autovetores) para representar as amostras, no qual a natureza multivariada dos dados pode ser visualizada em poucas dimensões. Estas novas variáveis são obtidas em ordem decrescente de quantidade de informação estatística que descrevem, ou seja, a primeira componente principal aponta a direção de maior variação dos dados, a segunda, que é ortogonal à primeira, aponta outra direção que descreve a maior variação restante dos dados e assim por diante. Usando a notação matricial, as componentes principais são obtidas por meio de transformações lineares conforme a equação 9 (MORGANO et al., 1999):

$$X P = T \quad \text{Eq. (9)}$$

Onde X é a matriz original dos dados, T é a matriz de scores que contém as coordenadas das amostras no novo sistema de eixos e P é a matriz dos loadings, onde os elementos de cada coluna correspondem aos coeficientes das combinações lineares das variáveis originais (MORGANO et al., 1999).

O método PCA está baseado na correlação entre variáveis e na realidade agrupa aquelas que estão altamente correlacionadas. As colunas da matriz de loadings, correspondem aos autovetores da matriz de correlação (ou variância e covariância dependendo do pré-processamento utilizado), enquanto os autovalores representam uma fração da variância total dos dados. Assim, cada componente principal descreve uma porcentagem da variância total dos dados (MORGANO et al., 1999).

Atualmente a PCA representa um dos principais métodos de análise multivariada de dados e constitui a base para diversos métodos de reconhecimento de padrões, classificação e calibração multivariada, utilizada para extrair e exibir a variação sistemática em uma matriz de dados. O ponto de partida para PCA é uma matriz de dados com linhas N (observações) e colunas de K (variáveis). As observações podem ser amostras de análises, compostos ou reações químicas, um ponto de amostragem de um processo contínuo, ensaios biológicos, etc. As

propriedades das observações das variáveis (colunas) medidas pode ser de origem espectral, de origem cromatográfica, a partir de sensores de medições instrumentos de um processo, etc (ERIKSON, 2006; SOUZA e POPPI, 2011).

A PCA é utilizada com o objetivo de comprimir os dados reescrevendo as coordenadas das amostras em outro sistema de eixo mais convenientes para a análise dos dados, permitindo visualizar a estrutura dos dados, encontrar similaridades entre amostras, detectar amostras anômalas (outliers) e reduzir a dimensionalidade do conjunto de dados. As n-variáveis originais geram, através de suas combinações lineares, n-componentes principais, sendo que uma das principais características é o fato destas componentes serem apresentadas em ordem decrescente de máxima variância. Normalmente duas a cinco dimensões (componentes), descrevem o sistema de forma a apresentar uma visão geral dos dados (ERIKSON, 2006; SANTOS, 2009; SOUZA e POPPI, 2011).

Muitos são os exemplos de aplicação de PCA, Souza e Poppi (2011) desenvolveram um trabalho utilizando análise exploratória de óleos vegetais comestíveis por espectroscopia no infravermelho médio, com o objetivo de apresentar os conceitos básicos e aplicação prática de análise de componentes principais, como um tutorial para iniciantes, alunos de graduação e pós-graduação.

Santos (2009) estudou a atividade antifúngica *in vitro* de oito amostras de extratos etanólicos de própolis (EEP), utilizando ferramentas quimiométricas associadas à espectroscopia no infravermelho. A PCA foi utilizada neste estudo com o objetivo de construir modelos com fatores mais relevantes e um menor número de variáveis.

Barros (2008) em sua dissertação que buscava identificar indicadores biológicos de qualidade de solos da área de mineração e processamento de chumbo, utilizou a análise de componentes principais em duas etapas do seu estudo. A primeira análise de PCA foi com teores de metais pesados visando discriminar os solos com maiores problemas de contaminação decorrentes das atividades de mineração e metalurgia de Pb. A PCA também foi utilizada com o objetivo de tornar possível verificar o efeito da época de amostragem nas características químicas e físicas dos solos.

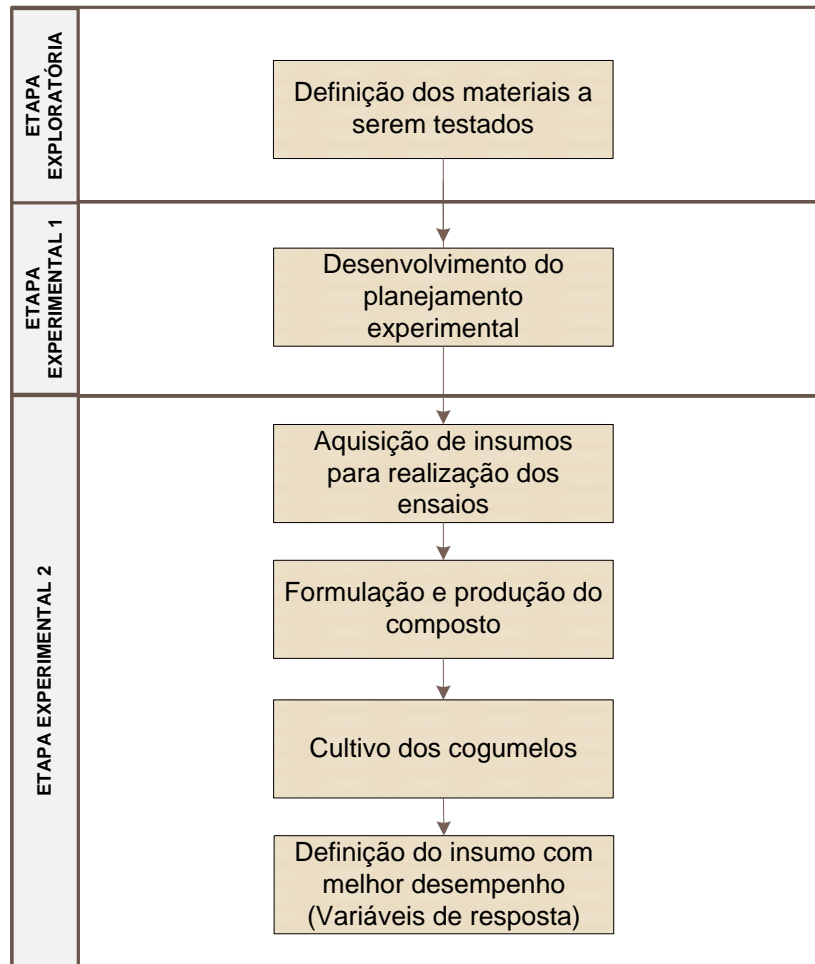


#### 4. METODOLOGIA

Este trabalho se originou a partir de uma “pesquisa exploratória”, onde se buscou num primeiro momento uma maior aproximação e familiaridade com relação ao tema. Conceitualmente com a pesquisa exploratória busca-se exatamente uma familiaridade pela prospecção de materiais que possam informar ao pesquisador a real importância do problema, o estágio em que se encontram as informações disponíveis e novas fontes de informação (SANTOS, 2000).

Na segunda fase o projeto assumiu uma característica de “*pesquisa experimental*”. Segundo Santos (2000), pesquisa experimental é quando um fato ou fenômeno da realidade é produzido de forma controlada, com o objetivo de descobrir os fatores que o produzem ou que por ele são produzidos. Basicamente a pesquisa experimental consiste em se definir o objeto do estudo, e manipular diretamente as variáveis relacionadas, a fim de observar alterações no padrão observado do fato ou fenômeno.

Nesta segunda fase, o trabalho se dividiu em duas etapas, sendo estas executadas durante o período de realização da dissertação. A Figura 10 apresenta o fluxograma executivo deste projeto de pesquisa, cujos detalhes de cada etapa são descritos na seqüência.



**Figura 10:** Fluxograma executivo do projeto de pesquisa.  
**Fonte:** Desenvolvido pelo autor.

#### 4.1 Definição dos materiais a serem testados

Através do desenvolvimento desta etapa exploratória, se buscou a confirmação das melhores alternativas de materiais a serem trabalhados como insumos da fase seguinte do projeto. A pesquisa buscou exatamente um maior conhecimento sobre as alternativas de resíduos agrícolas e gramíneas de corte disponíveis na região do Vale do Rio Taquari, de forma a comprovar que os materiais que inicialmente estariam disponíveis (palha de milho, palha de arroz e capim cameron) realmente correspondiam às melhores alternativas de substrato nos testes de formulação dos compostos para produção de cogumelo.

O estudo desenvolvido a fim de atingir este objetivo, foi incluído junto à revisão bibliográfica e documental apresentada no item 3.4. O desenvolvimento deste estudo nos confirmou que as melhores alternativas de materiais residuais e gramíneas de corte cultivados na região para utilização nos testes seriam: palha de arroz, palha de milho (híbrido e transgênico) e capim cameron. Além disto, bagaço de cana de açúcar também foi utilizado para comparar o desempenho deste com os demais.

#### **4.2 Desenvolvimento do planejamento experimental**

O planejamento experimental compreendeu o desenvolvimento de modelos lineares de misturas, modelos quadráticos e cúbicos, para mistura de três componentes. Com o modelo linear pretendeu-se descrever o comportamento das propriedades em função da mistura de três componentes, a partir de experimentos realizados exclusivamente com cada componente individualmente. Já nos modelos quadráticos, foram investigadas interações entre os componentes da mistura (misturas binárias, tipicamente 1:1) que resultasse em efeitos sinérgicos ou antagônicos sobre a propriedade investigada. Este modelo é denominado planejamento em rede simplex, para o qual os ensaios com misturas dos três componentes foram necessários. O modelo cúbico considera, além das informações dos componentes puros e de misturas binárias, a presença simultânea de três componentes para descrever a resposta de uma determinada mistura ternária.

A Tabela 12, apresenta as características dos ensaios e a relação das misturas de materiais vegetais para confecção dos substratos, considerando o modelo completo de misturas. Como a utilização do modelo completo acarretaria na necessidade de um número muito grande de ensaios, foi adotado o conjunto mínimas de misturas necessário para seguir o planejamento experimental para misturas ternárias, envolvendo modelos lineares, quadráticos ou cúbicos. A Tabela 13 apresenta este conjunto, composto de sete misturas.

**Tabela 12:** Caracterização dos ensaios com relação de misturas de materiais - modelo completo.

Ensaio	Proporção de material vegetal		
	Palha de milho	Palha de arroz	Capim cameron
1	1	0	0
2	0,75	0,25	0
3	0,50	0,50	0
4	0,25	0,75	0
5	0	1	0
6	0	0	1
7	0	0,25	0,75
8	0	0,50	0,50
9	0	0,75	0,25
10	0,75	0	0,25
11	0,50	0	0,50
12	0,25	0	0,75
13	0,25	0,50	0,25
14	0,50	0,25	0,25
15	0,25	0,25	0,50
16	0,33	0,33	0,33

**Fonte:** Tabela desenvolvida pelo autor.

**Tabela 13:** Caracterização dos ensaios com relação de misturas de material – misturas mínimas.

Modelo	Ensaio	Proporção de material vegetal		
		Palha de milho	Palha de arroz	Capim cameron
Linear	1	1	0	0
	5	0	1	0
	6	0	0	1
Quadrático	3	0,50	0,50	0
	8	0	0,50	0,50
	11	0,50	0	0,50
Cúbico	16	0,33	0,33	0,33

**Fonte:** Tabela desenvolvida pelo autor.

Como os resultados preliminares obtidos na etapa exploratória deste estudo indicaram que o cultivo de milho transgênico estava em grande desenvolvimento na região (em substituição ao milho híbrido), optou-se assim em utilizar as duas variedades de palha de milho (híbrido e transgênico). Desta forma, foram também acrescentados à Tabela 13 ensaios com as duas variedades de palha de milho, de maneira a obter o menor número possível de experimentos ainda com a utilização do modelo cúbico. Além destes, também foi acrescentado mais um teste utilizando bagaço de cana de açúcar para servir de material de referência de produtividade. Logo, um total de doze ensaios (Tabela 14) foram preparados, e posteriormente cultivados em triplicata, resultando então em trinta e seis amostras.

**Tabela 14:** Caracterização dos ensaios com misturas de material vegetal – misturas mínimas para palha de milho (duas variedades), palha de arroz e capim cameron.

Modelo	Ensaio	Proporção de material vegetal				
		Palha de milho (híbrido)	Palha de milho (transgênico)	Palha de arroz	Capim cameron	Bagaço de cana de açúcar
Linear	1H	100	0	0	0	0
	1T	0	100	0	0	0
	5	0	0	100	0	0
	6	0	0	0	100	0
Quadrático	3H	50	0	50	0	0
	3T	0	50	50	0	0
	8	0	0	50	50	0
	11H	50	0	0	50	0
	11T	0	50	0	50	0
Cúbico	16H	33	0	33	33	0
	16T	0	33	33	33	0
Branco	Br	0	0	0	0	100

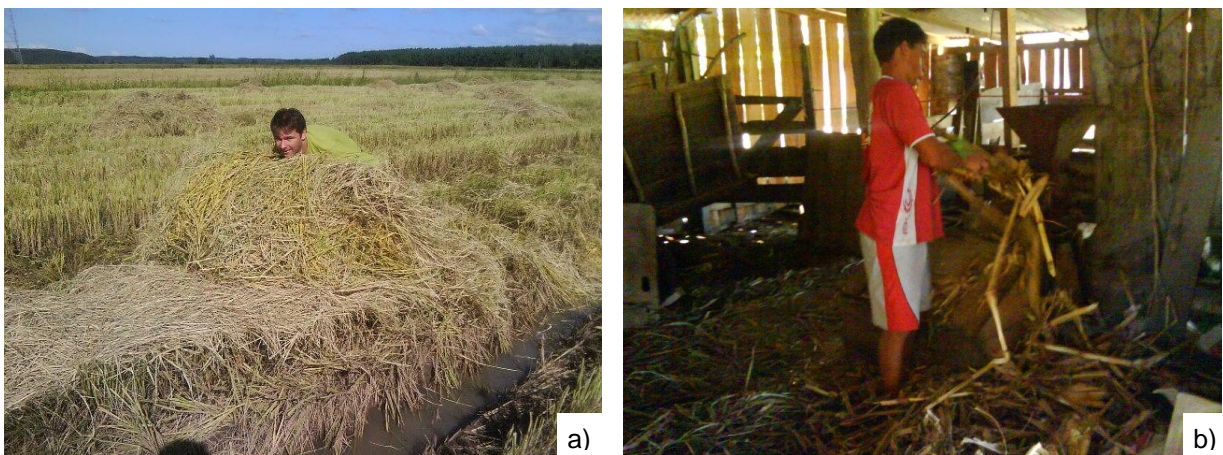
**Fonte:** Tabela desenvolvida pelo autor.

### 4.3 Aquisição e preparação dos insumos para realização dos ensaios

A pesquisa foi conduzido no município de Taquari, localizado na Mesorregião do Centro Oriental do estado do Rio Grande do Sul. No período de janeiro a fevereiro de 2011, foram realizadas visitas à área rural do município, visando promover entrevistas para seleção de fornecedores de material vegetal para a execução dos experimentos de produção de composto. Especialmente as áreas de plantio de arroz, milho e material forrageiro para criação de gado.

Todos os materiais escolhidos para os testes foram coletados no período de março a maio, em propriedades diferentes localizadas na região do Vale do Rio Taquari, conforme é ilustrado através da Figura 11a.

Após coletadas as palhas de milho (híbrido e transgênico) e o capim cameron, estes foram triturados para tamanho de partícula inferior a 15 cm (Figura 11b), a fim de se obter uma melhor condição para montagem da pilha e também para facilitar a ocorrência do processo de compostagem. O bagaço de cana foi adquirido triturado e a palha de arroz não necessitou de trituração em função da sua característica diferenciada dos demais materiais.



**Figura 11: a)** Coleta da palha de arroz. **b)** Palha de milho híbrido sendo triturada.

**Fonte:** Registro fotográfico feito pelo autor.

Após coletado e triturado, o material foi acondicionado em local seco para aguardar os resultados das análises e posterior início do processo.

## 4.4 Formulação e produção de composto

### 4.4.1 Análise da relação C/N, teor de umidade e pH

Conforme Bononi et al. (1999), a relação ideal de C/N é uma mistura que represente uma relação entre carbono e nitrogênio em torno de 30 (relação C/N=30). Para a determinação deste índice, analisou-se a concentração de carbono e nitrogênio de cada um dos materiais coletados (palha de arroz; palha de milho híbrido; palha de milho transgênico; capim cameron e bagaço de cana de açúcar) e do esterco de cavalo, no laboratório de Análise de Solos da UFRGS. Os parâmetros pH e umidade foram determinados junto ao laboratório de hidrologia da UNISC.

A Figura 12 apresenta os materiais preparados para análise.



**Figura 12:** Amostras de material enviadas para análise. **a)** Palha de arroz; **b)** Palha de milho híbrido; **c)** Palha de milho transgênico; **d)** Capim cameron; **e)** Bagaço de cana de açúcar; **f)** Esterco de cavalo.

**Fonte:** Registro fotográfico feito pelo autor.



#### 4.4.2 Ajuste da fórmula

A fórmula padrão apresentada na Tabela 15 foi desenvolvida com base na fórmula atualmente utilizada para produção do composto, que utiliza bagaço de cana de açúcar como principal insumo e segue a quantidade de palha e esterco de cavalo apresentada por Bononi et al. (1999) como fórmula tradicional e também como fórmula utilizada na Holanda, fórmulas estas apresentadas na Tabela 5 (página 30).

**Tabela 15:** Fórmula padrão à ser utilizada para formulação dos compostos.

Insumo	Quantidade (%)
Palha ou mistura conforme planejamento da Tabela 14	59,94
Esterco de cavalo	25,69
Farelo de soja (*)	6,08
Uréia (*)	0,69
Super fosfato triplo	0,69
Gesso	5,52
Calcário	1,38
<b>Total</b>	<b>100,00</b>

**Fonte:** Tabela desenvolvida pelo autor. (\*) a massa destes insumos poderá ser alterada para correção da relação C/N.

A correção da relação C/N foi realizada a partir da soma do total de carbono e nitrogênio presentes na fórmula calculada com base no material seco, sendo a relação ajustada para 30 através da alteração das quantidades de massa do farelo de soja e de uréia. O ANEXO A apresenta as fórmulas individuais para cada um dos testes, já com as devidas correções para obtenção da relação C/N adequada. Cabe comentar que em função da baixa relação C/N apresentada pela maioria dos materiais, apenas o teste BR, que utilizava bagaço de cana na sua composição, necessitou ajuste da fórmula com uréia, sendo que para todas as outras o ajuste foi realizado apenas através da quantidade de farelo de trigo.



#### 4.4.3 Execução da compostagem

Segundo Campbell (1995) para se obter um processo de compostagem quente e rápido, se deve ter uma pilha com no mínimo 1 m<sup>3</sup>. Contudo, considerando as particularidades deste estudo, em que um total de 12 testes foram previstos, e que cada teste consome no máximo 15 kg de material, um volume menor de material foi utilizado.

Assim, foi desenvolvido um sistema de bandejas de tela de arame com espaçamento de malha de 0,5 polegadas e dimensões 0,1 m (altura), 1,2 m (largura) e 1,0 m (comprimento), conforme modelo apresentado na Figura 13.

Logo, as bandejas ficaram dispostas uma sobre a outra, permitindo trocas térmicas entre estas e ao mesmo tempo, a tela teria a função de evitar a mistura das frações que representam os experimentos.



**Figura 13:** Bandeja confeccionada em tela com identificação da amostra.

**Fonte:** Registro fotográfico feito pelo autor.

A formulação e o conseqüente início do processo de compostagem, ocorreu no dia 28 de julho de 2011. Como algumas das variedades dos materiais foram coletados em quantidade insuficientes para realizar uma formulação completa, foi necessário reduzir a quantidade de material para algumas misturas, mantendo-se a relação de mistura proposta originalmente. A Tabela 16 apresenta a relação

percentual formulada para cada teste com relação à fórmula padrão. Estes percentuais utilizados para cálculo da massa a ser pesada para cada teste estão apresentados no ANEXO A.

**Tabela 16:** Percentual de massa utilizada para cada formulação com relação a formula padrão.

Teste	% padrão
Teste 01-H	10,8%
Teste 01-T	8,8%
Teste 05	16,3%
Teste 06	17,9%
Teste 03H	10,8%
Teste 03T	8,8%
Teste 08	15,1%
Teste 11H	12,1%
Teste 11T	10,4%
Teste 16H	11,7%
Teste 16T	9,4%
Teste Branco	16,6%

**Fonte:** Tabela desenvolvida pelo autor.

As palhas já trituradas, conforme detalhado no item 4.2, e parte dos insumos, foram pesados conforme ANEXO A, com uso de uma balança digital Filizola, Modelo Pluris, e o material foi então misturado e disposto em bandejas devidamente identificadas (Figura 14).



**Figura 14:** Bandeja confeccionada em tela com identificação da amostra.

**Fonte:** Registro fotográfico feito pelo autor.

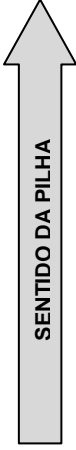
Durante a preparação das misturas, a umidade foi ajustada para aproximadamente 70%. O teste de umidade foi realizado de forma empírica, conforme sugerido por Ferreira (1998). Segundo ele, a presença de algumas gotas quando se aperta o composto na mão com força, demonstra uma umidade adequada.

Na Figura 15 temos a pilha de bandejas já montada com o material a ser compostado, obedecendo a distribuição algoritma apresentada na Tabela 17. A distribuição algoritma das bandejas foi desenvolvida com o objetivo de que todas as bandejas passassem por todas as partes da pilha, garantindo desta forma que todas estariam sendo submetidas a processos aeróbicos e anaeróbicos.



**Figura 15:** Bandeja empilhadas conforme distribuição algoritma proposta.  
**Fonte:** Registro fotográfico feito pelo autor.

**Tabela 17:** Distribuição das bandejas nas reviragens realizadas.

Reviragem / Data	1 (28/07)	2 (30/07)	3 (01/08)	4 (04/08)	5 (10/08)	6 (14/08)	7 (20/08)
Distribuição das bandejas 	BR	13H	11H	6	5	01T	01H
	13T	01H	03H	03T	8	11H	13T
	13H	11H	6	5	01T	01H	13H
	11T	13T	01H	03H	03T	8	11H
	11H	6	03T	01T	01H	13H	11T
	8	11T	13T	BR	03H	03T	8
	6	03T	01T	01H	13H	11T	6
	5	8	11T	13T	BR	03H	03T
	03T	01T	BR	13H	11T	6	5
	03H	5	8	11H	13T	BR	03H
	01T	BR	13H	11T	6	5	01T
	01H	03H	5	8	11H	13T	BR

**Fonte:** Tabela desenvolvida pelo autor.

Os insumos para compostagem foram adicionados entre as reviragens, de forma a permitir uma melhor distribuição destes na pilha de compostagem. A Tabela 18 apresenta o percentual adicionado de cada insumo em cada reviragem.

**Tabela 18:** Distribuição da adição de insumos nas reviragens realizadas.

Insumos	1 (28/07)	2 (30/07)	3 (01/08)	4 (04/08)	5 (10/08)	6 (14/08)	7 (20/08)
Palhas ou mistura	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Esterco de cavalo	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
Farelo de soja	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%
Uréia	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
Super fosfato triplo	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%
Gesso	0%	0%	50%	0%	0%	50%	0%
Calcário	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%

**Fonte:** Tabela desenvolvida pelo autor.

Em todo o período de compostagem, especialmente nos dias em que foram realizadas as reviragens, a umidade das bandejas foi monitorada conforme descrito por Ferreira (1998), sendo promovido o acréscimo de água a pilha sempre que necessário.



A temperatura da pilha foi medida em cada bandeja durante todo o processo, com uso de um termômetro Incoterm modelo GC 9293 que atingia uma profundidade de 21 cm na pilha.

O processo de compostagem foi conduzido por 27 dias até o material passar a apresentar um aspecto de marrom chocolate, conforme citado por Ferreira (1998). As figuras 16a e 16b apresentam, respectivamente, a montagem da pilha e o aspecto do material nos últimos dias do processo de compostagem.



**Figura 16:** a) Bandejas no final do processo. b) Aspecto do material no final do processo.  
**Fonte:** Registro fotográfico feito pelo autor.

Ao final do 27º dia, o material foi retirado das bandejas, homogeneizado, e três amostras de 5 kg foram coletadas para a seqüência dos experimentos de produção. Da mesma forma, uma amostra de 1 kg foi coletada para caracterização do material em laboratório. As figuras 17a e 17b, respectivamente, apresentam a homogeneização dos testes e a separação e pesagem das amostras.

Para medida da massa de material coletado foi utilizada uma balança Filizola modelo Pluris.



**Figura 17: a)** Homogeneização do composto. **b)** Separação e pesagem das amostras.  
**Fonte:** Registro fotográfico feito pelo autor.

#### 4.4.4 Desinfestação do composto

Em função da disponibilidade de equipamentos, foi utilizada a autoclavagem como método de desinfestação do composto. As quatro amostras de cada teste foram submetidas a autoclavagem no laboratório de Biologia da UNISC nos equipamentos de Autoclave (Phoenix e Quimis), sendo que este processo se desenvolveu em 20 minutos, a uma temperatura de 121 °C e a uma pressão de 1,5 atm. Em função de existir no laboratório poucas unidades de sacos especiais para autoclavagem, foi necessária a colocação de mais de um saco de teste em cada saco especial de autoclavagem, o que acarretou na ruptura de alguns sacos durante o processo.

A ruptura destes sacos somada a necessidade de retirada destes de dentro do saco especial de autoclavagem, pode ter ocasionado alguma contaminação do material. Os testes que tiveram ruptura foram identificados para acompanhamento e avaliação de possíveis contaminações (testes 05-III, 11T-III e 13H-I).

As figuras 18a e 18b, respectivamente, apresentam um dos equipamentos de autoclavagem utilizados no processo e algumas amostras após terem sido submetidas ao processo de autoclavagem.



**Figura 18:** a) Autoclave utilizado para desinfecção do composto. b) Amostras após autoclavagem.  
**Fonte:** Registro fotográfico feito pelo autor.

#### 4.4.5 Análise do composto

As análises realizadas nas amostras do composto após a etapa de desinfestação, visavam conferir a relação C/N do composto antes da inoculação do mesmo. Parte das análises foram realizadas no laboratório de Análise de Solos da UFRGS (carbono orgânico, nitrogênio-TKN, fósforo total e enxofre total), e parte foi realizada no laboratório de Hidrologia da UNISC (pH e umidade).

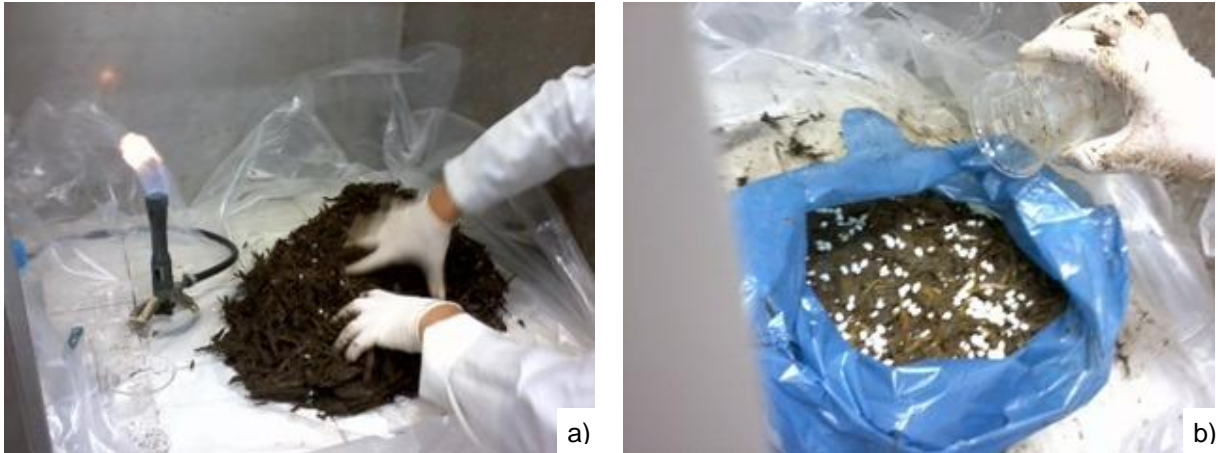
### 4.5 Cultivo dos cogumelos

#### 4.5.1 Inoculação

Depois da autoclavagem e imediatamente após a temperatura atingir a faixa entre 25 e 30°C, foi realizada a inoculação do composto com inóculo de *Agaricus bisporus* da espécie codificada como PM-15, lote 321, produzida em 29 de agosto pela Promicel Fungicultura Ltda. Este mesmo lote de matriz foi utilizado para todos os 36 sacos de 5kg, correspondendo aos 12 experimentos em triplicatas.

A inoculação ocorreu no dia 26 de agosto no laboratório de química da UNISC, em capela devidamente desinfetada com solução de formaldeído 34% e equipada com bico de Bunsen. Foram misturadas 80g desta semente em cada saco de composto (1,6% em relação à massa de composto) e homogeneizado (Figura 19a). Depois de homogeneizado e ensacado, foi adicionado na superfície mais 20g de

semente de inoculo (0,4% em relação à massa de composto), ilustrado através da Figura 19b, totalizando 2% de semente em relação à massa de composto de cada saco.



**Figura 19:** a) Colocação de semente de inoculo e homogeneização dos testes. b) Adição de 20 % da semente na parte superior do saco de teste.

**Fonte:** Registro fotográfico feito pelo autor.

#### 4.5.2 Incubação

Depois de inoculados, os 36 sacos de testes foram acondicionados “fechados” em estufa com condições ambientais controladas. A disposição dos sacos foi em prateleiras, de forma que estes ocupassem localizações semelhantes na sala de cultivo. A temperatura ambiente média neste período foi de 17,6 °C e a umidade ambiente média foi de 83,8%. A temperatura interna do composto foi medida em 3 pontos diferentes da estufa, não demonstrando diferenças significativas entre os pontos. A temperatura média interna durante este período foi de 18,9 °C, abaixo da temperatura recomendada por Bononi et al. (1999), Ferreira (1998) e Eira (2000), que seria na faixa de 24-25°C, no entanto este fato não prejudica o desempenho dos testes, apenas atrasando o desenvolvimento da colonização do meio.

Esta etapa durou 16 dias (período entre 26/08/11 e 11/09/11), sendo que no final desta etapa a colonização do composto era evidente pela formação de “teia branca” na superfície do composto (Figura 20).





**Figura 20:** Teste 05-I com micélio indicando a colonização do composto.  
**Fonte:** Registro fotográfico feito pelo autor.

#### 4.5.3 Preparação e colocação de terra de cobertura

A terra colocada sobre o saco de composto inoculado foi preparada buscando-se obter as características citadas por Bononi et al. (1999). A preparação partiu de um solo retirado de uma camada de 10 cm abaixo da superfície. Esta terra foi peneirada e uma massa de 10% de pó de carvão vegetal foi incorporada e homogeneizada.

O pH da mistura foi ajustado com calcário calcítico para uma faixa entre 7,0 e 7,5, a umidade foi ajustada para aproximadamente 70% e a mistura foi desinfestada com solução 10% de aldeído fórmico (10 litros por m<sup>3</sup> de terra de cobertura). Posteriormente, a mistura foi coberta com lona por 48 horas e, após este período, a lona foi aberta o material exposto ao ar livre por mais 24 horas para liberação de odor de formol.

A terra de cobertura foi adicionada no dia 11 de setembro, de forma a cobrir toda a superfície do saco com uma camada de três a quatro centímetros, conforme proposto por Bononi et al. (1999) e Ferreira (1998). Após a colocação da terra de cobertura os sacos permaneceram abertos (Figura 21).



**Figura 21:** Teste 06-I com a terra de cobertura.  
**Fonte:** Registro fotográfico feito pelo autor.

#### **4.5.4 Condições ambientais após colocação da terra de cobertura até a colheita**

Após colocação da terra de cobertura sobre os compostos inoculados, estes foram mantidos a temperatura do ambiente (média de 19,0 °C), resultando numa temperatura média do composto de 19,1°C, pouco superior à recomendada por Bononi et al. (1999), entre 16-18°C. A umidade do ambiente foi mantida em 81,7 °C (média), valor dentro da faixa sugerida por Bononi et al. (1999), entre 80 e 90%.

Cabe destacar que o objetivo da umidade elevada é exatamente manter a terra de cobertura sempre úmida, diminuindo a necessidade de irrigação que foi realizada sempre que uma redução de umidade era observada na superfície da terra de cobertura.

A ventilação da sala de cultivo foi controlada com uso de um ventilador que promovia a troca do ar ambiente, distribuindo em toda a sala através de dutos de ar.

## 4.6 Variáveis de resposta

Vinte dias após a adição da terra de cobertura, desenvolveram-se os primeiros cogumelos em ponto de colheita. A produção se estendeu por 33 dias, sendo que os cogumelos foram colhidos manualmente e pesados em balança Filizola Modelo Pluris.

### 4.6.1 Determinação da produtividade e eficiência biológica

A produtividade e a eficiência biológica correspondem aos principais parâmetros de resposta para fungicultura. Estes foram determinados conforme as equações (9) e (10), descritos por Bernardi (2010).

$$PRD = \left( \frac{muc}{mus} \right) \times 100 \quad \text{Eq. (9)}$$

$$EB = \left( \frac{muc}{mss} \right) \times 100 \quad \text{Eq. (10)}$$

Onde:

PRD = Produtividade, %;

EB = Eficiência Biológica, %;

muc = Massa úmida de cogumelo, g;

mus = Massa úmida do substrato, g;

mss = Massa seca do substrato, g

### 4.6.2 Avaliação dos resultados

Os resultados obtidos foram analisados com base no seu coeficiente de resposta, seguindo as equações 5, 6, 7 e 8, apresentadas no item 3.5.2, sendo que primeiramente foram avaliados os resultados com o modelo utilizando a palha de milho híbrido e no segundo momento, utilizando a palha de milho transgênico. O objetivo deste tratamento em separado é exatamente avaliar a performance destes

materiais comparando com os demais testados, e na seqüência, comparar o desempenho destes entre si.

Estatística descritiva foi utilizada para tabulação e ilustração gráfica dos resultados e determinação da tendência central e dispersão. Para construção dos diagramas ternários foi utilizado o software Matlab 7.0, The MathWorks.

A análise exploratória dos dados foi feita pela Análise de Componentes Principais (PCA), com dados auto-escalados, utilizando o software Solo, versão 6.5.1, da Eigenvector Research Inc. O software InStat®, versão 3.00, da GraphPad Software, Inc. foi utilizado para determinação dos coeficientes de correlação de Pearson, entre as variáveis medidas no composto e a eficiência biológica.

## 5. RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos na etapa de pesquisa experimental do presente trabalho. A primeira etapa do trabalho que abrangia a pesquisa exploratória foi apresentada no item 3.4 da fundamentação teórica.

### 5.1 Caracterização física e química dos insumos para compostagem

Os resultados nas análises físicas e químicas dos insumos (Tabela 19) indicaram uma relação C/N de 123,5 para o bagaço de cana de açúcar, sendo muito superior do que as demais palhas; tendência inversa do apresentado pela Tabela 4, onde Ferreira (1998) sugere uma relação C/N de 112 para palha de milho e 37 para bagaço. Na prática, este valor maior da relação C/N do bagaço de cana ocasionou uma necessidade de maior adição de fonte de nitrogênio, representado na fórmula pelo esterco de cavalo e pela uréia.

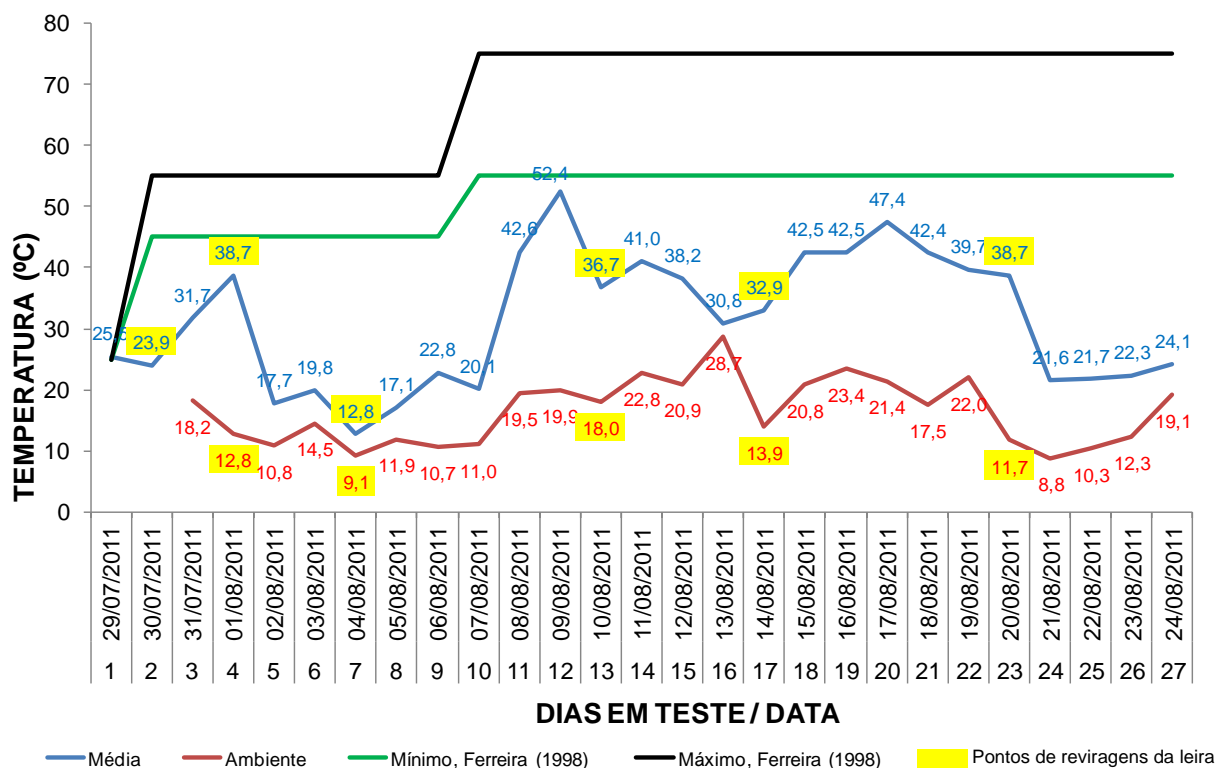
**Tabela 19:** Resultados analíticos dos materiais a serem utilizados nos testes.

Materiais	Umidade - % (m/m)	pH	C. org. - % (m/m)	N. (TKN) - % (m/m)	Relação C/N
Palha de arroz	48	8,7	37	0,58	63,8
Palha de milho híbrido	27	8,6	42	0,74	56,8
Palha de milho transgênico	18	9,8	42	0,78	53,8
Capim cameron	25	8,8	42	0,8	52,5
Bagaço de cana de açúcar	60	3,4	42	0,34	123,5
Esterco de cavalo	53	9,1	17	1,01	16,8

**Fonte:** Tabela desenvolvida pelo autor.

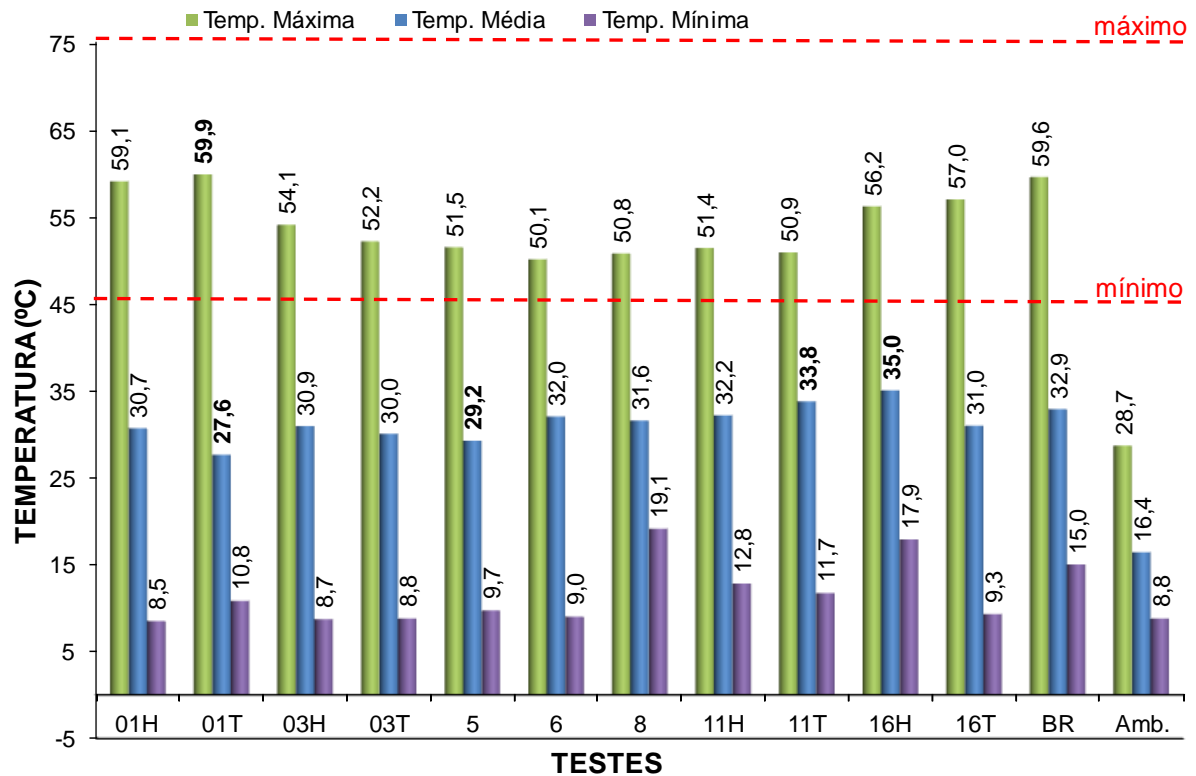
## 5.2 Monitoramento da temperatura de compostagem

As temperaturas do ambiente e das bandejas de compostagem foram medidas ao longo dos 27 dias de condução do processo. O objetivo deste monitoramento foi avaliar o desempenho do processo e identificar a necessidade de uma eventual revirada da pilha por excesso de temperatura. A Figura 22 apresenta a temperatura média dos testes por dia de compostagem, apresentando também linhas comparativas das temperaturas máximas e mínimas para as fases Mesófila e Termófila sugeridas por Ferreira (1998), bem como suas respectivas linhas de tendência. Já a Figura 23 apresenta a temperatura máxima, mínima e média de cada teste durante todo este período.



**Figura 22:** Variação da temperatura média dos testes por dia durante a compostagem.

**Fonte:** Gráfico desenvolvido pelo autor.



**Figura 23:** Temperatura máxima, mínima e média dos testes durante a compostagem. A linha pontilhada indica os valores máximos e mínimos sugeridos por Ferreira (1998).

**Fonte:** Gráfico desenvolvido pelo autor.

A elevação de temperatura ficou um pouco abaixo do esperado chegando a temperatura média mais elevada da pilha no 12º dia de compostagem (52,4 °C). Os pontos amarelos destacados na Figura 22, ilustram os dias em que ocorreu a reviragem das bandejas, sendo possível verificar, na maioria dos casos, um decréscimo de temperatura no dia seguinte e uma elevação de temperatura posterior, devido ao resfriamento do meio provocado pela reviragem. A temperatura mais elevada por teste foi de 59,9°C, atingida pelo teste 01T, também no 12º dia de compostagem. Segundo Ferreira (1998), no início da decomposição (fase mesófila), atinge-se temperaturas intermediárias, entre 45 e 55°C e aos poucos, a partir de 10 a 15 dias, atinge-se a fase termófila, com temperaturas ficando entre 55 e 75°C. Analisando a temperatura média atingida por cada teste, observam-se as temperaturas médias mais elevadas para os testes 06 (32°C), 11H (32,2 °C), Br (32,9 °C), 11T (33,8 °C) e 16H (35 °C) e as temperaturas médias mais baixas para os testes 01T (27,6 °C), 05 (29,2 °C) e 03T (30 °C).

A pouca elevação da temperatura na etapa de compostagem, de forma geral, pode estar relacionada à altura da leira de compostagem, que chegou a apenas 0,64m de altura no final do processo, o que corresponde a um tamanho de 0,77 m<sup>3</sup>, ficando bem inferior ao tamanho mínimo de 1 m<sup>3</sup>, sugerido por Campbell (1995).

### 5.3 Caracterização física e química do composto

Depois de terminada a compostagem e autoclavadas, as misturas, as concentrações de carbono orgânico, nitrogênio (TKN), fósforo total e enxofre, além de pH e umidade foram determinados em todas as amostras (Tabela 20).

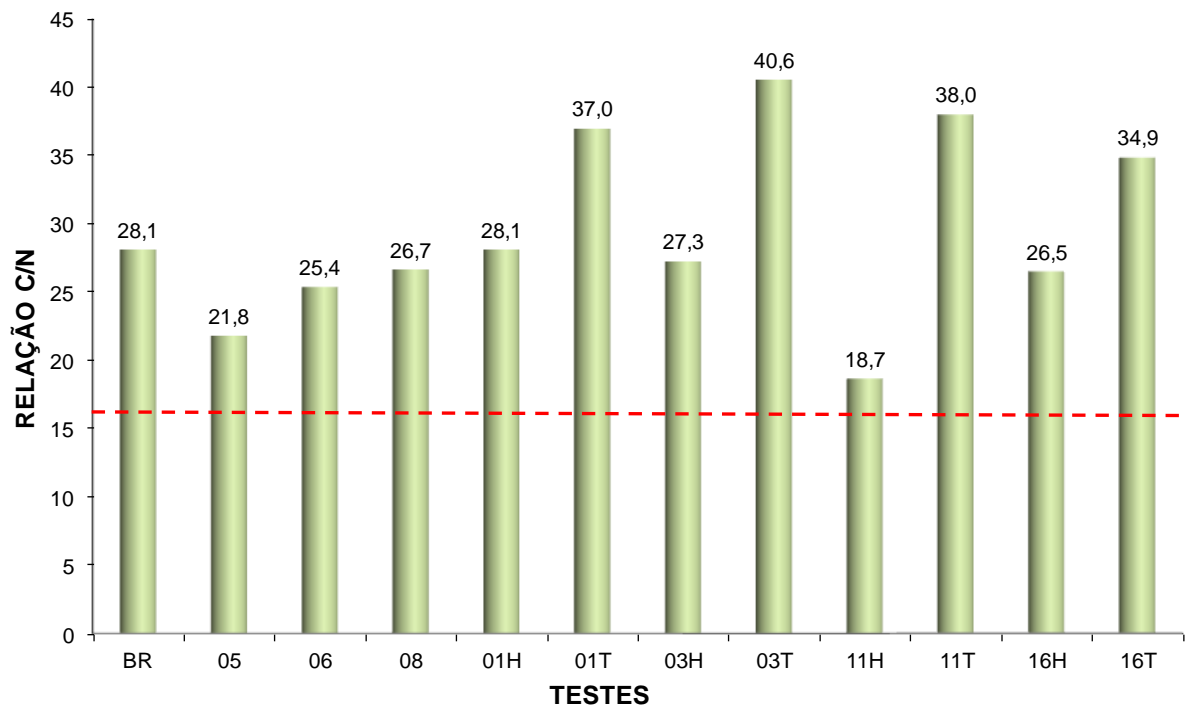
**Tabela 20:** Resultados analíticos do material compostado.

Determinações	BR	05	06	08	01H	01T	03H	03T	11H	11T	16H	16T
pH	6,3	6,5	5,4	6,5	6,4	6,2	6,4	6,6	6,3	6,5	6,6	6,5
Umidade, %	78,7	76,9	77,4	76,2	76,7	78,4	78,3	75,1	75,0	73,4	76,4	73,5
Fósforo total (% m/m)	0,8	0,4	0,9	0,8	0,6	0,6	0,5	0,5	0,9	0,6	0,7	0,7
Enxofre total (% m/m)	1,0	1,4	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,9	1,0	0,9
Carbono Org. (% m/m)	27,0	24,0	33,0	32,0	18,0	37,0	30,0	28,0	28,0	35,0	26,0	30,0
Nitrogênio (TKN) (% m/m)	1,0	1,1	1,3	1,2	0,6	1,0	1,1	0,7	1,5	0,9	1,0	0,9
Relação C/N	28,1	21,8	25,4	26,7	28,1	37,0	27,3	40,6	18,7	38,0	26,5	34,9

**Fonte:** Tabela desenvolvida pelo autor.

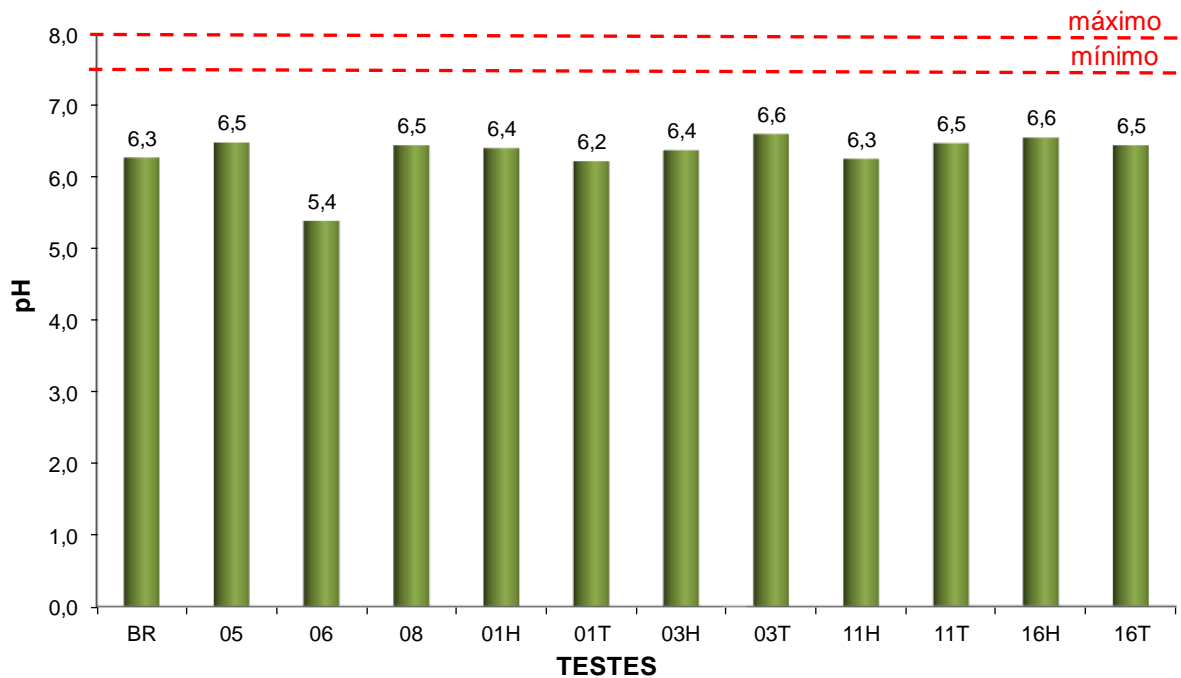
Buscando uma melhor visualização destes resultados, foram construídos dois gráficos. A Figura 24 apresenta o gráfico dos resultados da relação C/N de cada teste, comparando este com o valor ideal citado por Bononi et al. (1999). A Figura 25 apresenta os resultados de pH de cada teste, comparando este com o valor de referencia Straatsma (1994a) e (1994b) e Steineck (1987) apud Eira (2000).





**Figura 24:** Relação C/N dos testes após autoclavagem. A linha pontilhada indica o valor de referência citado por Bononi et al. (1999).

**Fonte:** Gráfico desenvolvido pelo autor.



**Figura 25:** pH dos testes após autoclavagem. A linha pontilhada indica o valor da faixa de referência (máximo e mínimo) citado por Straatsma (1994a) e (1994b) e Steineck (1987) apud Eira (2000).

**Fonte:** Gráfico desenvolvido pelo autor.

A relação C/N calculada a partir dos resultados analíticos obtidos, também demonstrou grande distorção quando comparada aos resultados sugeridos como ideais para o final da etapa de fermentação. Segundo Bononi et al. (1999), nesta etapa a relação ideal seria em torno de 16 (relação C/N = 16), devido à ação de microrganismos existentes no material e no ar, ocasionando um aumento na concentração de nitrogênio e, conseqüentemente, a redução da relação C/N de 30 para 16. Os testes que apresentaram resultados mais próximo desta relação foram os testes 11H (18,7) e o 05 (21,5), e os testes que apresentaram relação mais distante do esperado foram os testes 01T (37), 11T (38) e 03T (40,6).

O resultado de umidade ficou próximo a 70 %, conforme sugerido pela literatura consultada (STRAATSMA, 1994a e 1994b e STEINECK, 1987 apud EIRA, 2000, p. 6).

Praticamente todos os testes apresentaram-se com pH entre 6,2 e 6,6; com exceção do teste 06 que apresentou pH 5,4. Todos os resultados foram bem abaixo do pH esperado para esta fase, que seria entre 7,0 e 7,5. A carga microbiana útil de um composto é sensível ao pH do meio. Com um pH abaixo de 6, as atividades microbioquímicas ficam todas suspensas, permanecendo apenas algumas formas bacterianas com atividade hifomicética danosa, que modifica o composto, tornando-o impróprio para o cultivo. Com pH neutro ou levemente alcalino, o micélio se propaga com maior intensidade; enquanto que com pH 6 a produção tende a diminuir, o que ocorre totalmente com o pH 5 (MOLENA, 1986).

Quanto à terra de cobertura preparada para adicionar sobre o composto, os resultados obtidos antes da correção de pH foram de 3,6 e após a correção 6,7, sendo estes resultados inferiores ao sugerido por Bononi et al. (1999) e Molena (1986), entre 7,0 e 7,5. Da mesma forma que para o composto, o pH da terra de cobertura interfere no desempenho do micélio. No entanto, não chega a ser um limitante de produtividade, visto que ficou bem acima de pH 6, que seria a faixa que restringe a propagação e conseqüente a produção do micélio.

## **5.5 Desempenho do processo de produção**

No momento da colocação da terra de cobertura foram identificados alguns problemas de contaminação, de forma que algumas amostras foram eliminadas (amostra III do teste 05 e da amostra III do teste 11T). Estas amostras eliminadas se

apresentavam com pouca colonização e presença acentuada de contaminantes, como pode ser visualizada na Figura 26. As amostras descartadas faziam parte do grupo de amostras marcadas como vulneráveis a contaminação, em função da exposição no momento da autoclavagem.

Uma semana após a adição da terra de cobertura, foram identificadas mais três amostras com foco de contaminação superficial, sendo necessário o descarte destes testes (01T-III, 05-II e 11H-II). Com o descarte de mais uma amostra do teste 05, sobrou apenas uma das replicatas.

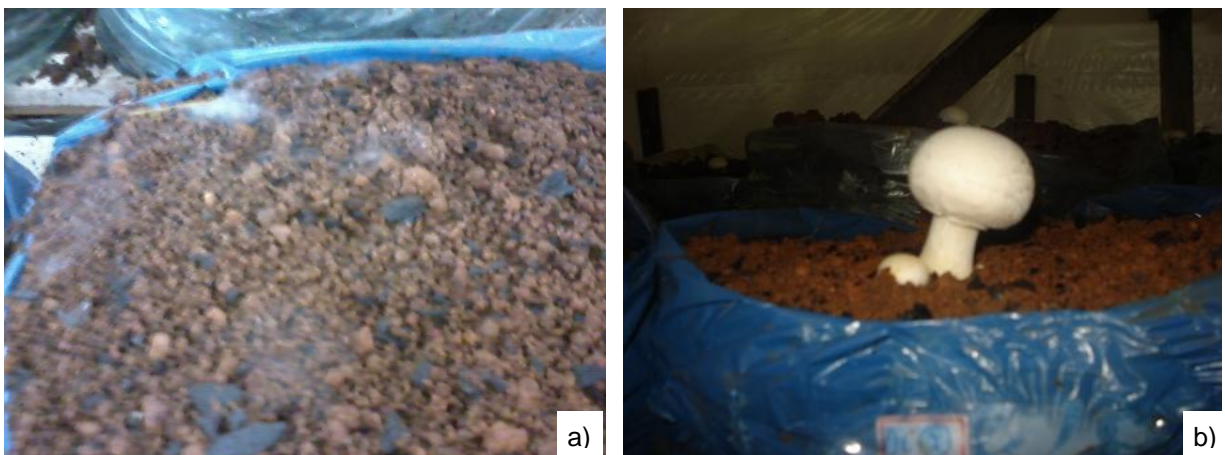


**Figura 26:** Teste 11T-III com destaque para a contaminação identificada.  
**Fonte:** Registro fotográfico feito pelo autor.

A contaminação identificada apresentou aspecto de fungo verde lanoso, característico do *Aspergillus trichoderma*, também conhecido como mofo verde, que é um fungo competidor, que representa uma das principais doenças que incidem sobre o cultivo de cogumelos. A multiplicação desta doença se dá por meio de esporos e, se não for devidamente desinfetada, a casa de cultivo pode ser totalmente contaminada (MOLENA, 1986).

## 5.6 Massa de cogumelo colhido

Depois de sete dias da adição da terra de cobertura, começou a se formar uma teia sob a superfície, junto com pequenos brotos, conforme ilustrado através da Figura 27a. O primeiro teste a apresentar formação de fruto em ponto de colheita foi o teste 06-I; o que ocorreu no dia 01 de outubro, 20 dias após a colocação da terra de cobertura (Figura 27b).



**Figura 27:** **a)** Surgimento dos primeiros brotos na superfície da terra de cobertura. **b)** Primeiro cogumelo colhido (teste 06-I).

**Fonte:** Registro fotográfico feito pelo autor.

A medida que eram colhidos, os cogumelos eram pesados para posterior cálculo de rendimento. A Tabela 21 apresenta o total produzido por teste ao longo dos 33 dias de colheita.

**Tabela 21:** Produção final de cogumelos.

<b>Teste</b>	<b>Produção por amostra (g)</b>	<b>Produção por teste (g)</b>
01H - I	20	88
01H - II	22	
01H - III	46	
01T - I	20	78
01T - II	58	
01T - III (*)	---	
03H - I	0	0
03H - II	0	
03H - III	0	
03T - I	0	12
03T - II	0	
03T - III	12	
05 - I	0	0
05 - II (*)	---	
05 - III (*)	---	
06 - I	20	46
06 - II	26	
06 - III	0	
08 - I	58	160
08 - II	56	
08 - III	46	
11H - I	64	106
11H - II (*)	---	
11H - III	42	
11T - I	0	56
11T - II	56	
11T - III (*)	---	
13H - I	6	56
13H - II	18	
13H - III	32	
13T - I	0	74
13T - II	74	
13T - III	0	
BR - I	0	12
BR - II	0	
BR - III	12	

**Fonte:** Tabela desenvolvida pelo autor. (\*) Amostras descartadas durante o processo.

A produção total de cogumelo de todos os testes foi de 688g. O teste 08 foi o de maior produtividade, chegando a 160g na soma das três amostras. Os testes 03H e 05 não produziram, sendo que o teste 05 teve duas amostras descartadas por

contaminação e o teste 03H não teve nenhuma, ou seja, as suas três amostras foram mantidas até o final do processo sem se observar nenhuma produção nestas.

## 5.7 Análise das variáveis de resposta obtidas

### 5.7.1 Produtividade e eficiência biológica

Finalizada a colheita, foram calculadas as variáveis produtividade e eficiência biológica, conforme equações (9) e (10). Para realizar o cálculo, foram selecionadas as duas melhores amostras de cada teste, apresentando os resultados relatados através da Tabela 22.

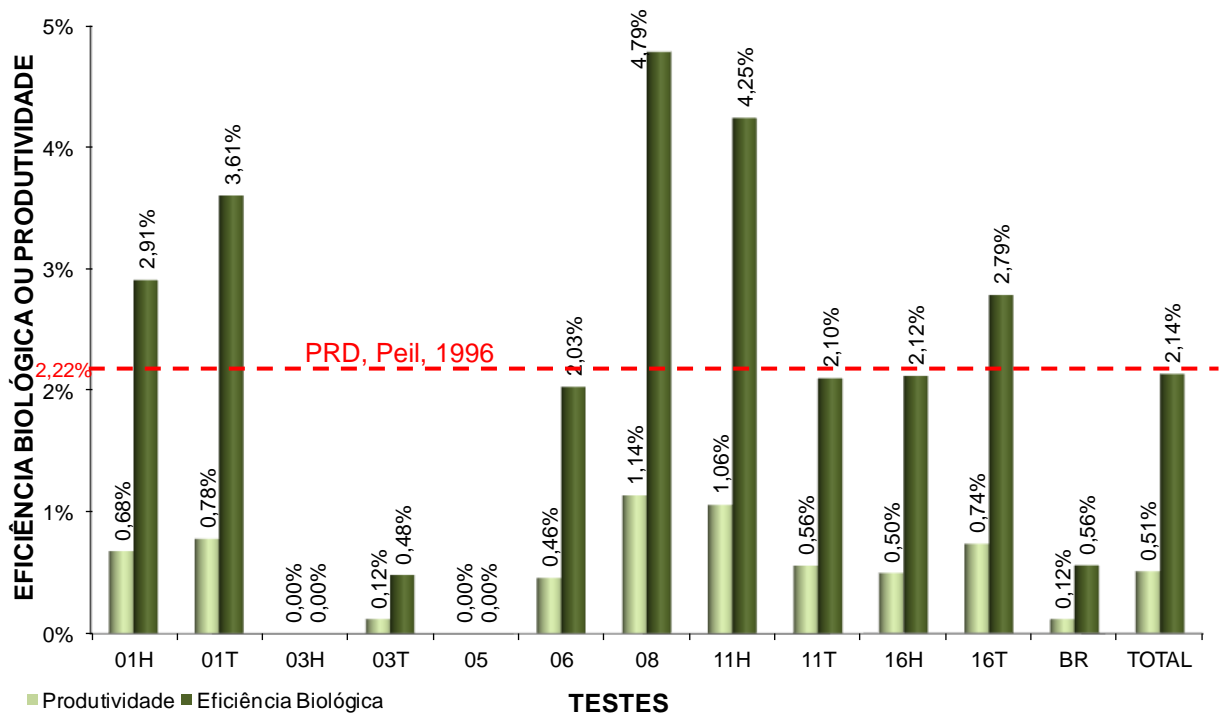
**Tabela 22:** Produtividade e eficiência biológica dos testes considerando as duas melhores amostras.

Teste	Massa úmida do composto (g)	Umidade Composto (%)	Massa seca do composto (g)	Colhido (g)	PRD (%)	EB (%)
01H	5000	76,65%	1167,26	68	0,68%	2,91%
01T	5000	78,39%	1080,67	78	0,78%	3,61%
03H	5000	78,30%	1084,79	0	0,00%	0,00%
03T	5000	75,14%	1242,93	12	0,12%	0,48%
05	5000	76,87%	1156,45	0	0,00%	0,00%
06	5000	77,36%	1132,09	46	0,46%	2,03%
08	5000	76,20%	1189,91	114	1,14%	4,79%
11H	5000	75,04%	1248,01	106	1,06%	4,25%
11T	5000	73,39%	1330,55	56	0,56%	2,10%
16H	5000	76,44%	1178,02	50	0,50%	2,12%
16T	5000	73,47%	1326,44	74	0,74%	2,79%
BR	5000	78,72%	1064,16	12	0,12%	0,56%
<b>TOTAL</b>	---	---	---	<b>616</b>	<b>0,51%</b>	<b>2,14%</b>

Onde: PRD = Produtividade; EB = Eficiência Biológica.

**Fonte:** Tabela desenvolvida pelo autor.

A Figura 28 apresenta um comparativo entre os resultados de produtividade e eficiência biológica obtidos nos testes e os resultados de produtividade obtidos por Peil (1996), que corresponde ao valor calculado para os resultados obtidos pelo autor no teste realizado com uso de autoclave como método de desinfestação de composto.



**Figura 28:** Comparativo de Produtividade e Eficiência Biológica de testes com Produtividade obtida por Peil (1996).

Onde: PRD = Produtividade; EB = Eficiência Biológica.

**Fonte:** Gráfico desenvolvido pelo autor.

Os melhores resultados de produtividade e eficiência biológica obtidos foram para os testes 08 (PRD = 1,14%; EB = 4,79%) e 11H (PRD = 1,06%; EB = 4,25%). A produtividade resultante foi abaixo da esperada considerando que, segundo Ferreira (1998), deveria ficar entre de 15 a 20%. No entanto, quando se comparou o resultado dos testes com os resultados obtidos por Peil (1996) para o teste com autoclavagem como técnica de desinfestação, verificou-se que os valores ficam um pouco mais próximos, mas ainda bem inferiores. Nos testes realizados por Peil (1996) foram avaliados três métodos de desinfestação: pasteurização, fumigação com brometo de metila e autoclavagem, para posterior cultivo do cogumelo *Agaricus*. Nos seus experimentos foi concluído que a produção a partir do método de autoclavagem obteve um crescimento micelial bem inferior às demais técnicas (PRD = 2,22%), o que pode justificar a baixa produtividade obtida no presente trabalho.

Esta baixa produtividade ocorreu também com o teste branco (BR), utilizando bagaço de cana de açúcar como insumo, obtendo o terceiro pior resultado de produtividade e eficiência biológica (PRD = 0,12%; EB = 0,56%).

A baixa produtividade e conseqüentemente a baixa eficiência biológica obtida para todos os testes, pode ser atribuída também à alguns problemas de processo destacados a seguir:

- Contaminação do composto na autoclavagem: A autoclavagem é o processo de desinfecção do composto, sendo, portanto uma etapa extremamente crítica, onde qualquer contaminação poderá vir a comprometer todo o processo. Nesta etapa tivemos a necessidade de retirada do composto do saco especial de autoclavagem para colocação em outro saco, o que pode ter ocasionado a contaminação do meio.

- Tempo de autoclavagem: O tempo de autoclavagem determinado pelo laboratório de biologia da UNISC foi de 20 minutos, a temperatura de 121 °C e pressão de 1,5 atm. No entanto, na literatura consultada todos os ensaios indicavam tempos bem maiores, como por exemplo:

- Wood e Smith (1987), 1 hora a 120°C;
- Pedra e Marino (2006), 40min a 120° C (por duas vezes, com intervalo de 24h);
- Bernardi (2010), 45 min a 120-121°C;
- Peil et al. (1996), 3 horas a 121°C.

- Ajuste da relação C/N: A relação C/N foi ajustada a 30, a partir dos resultados obtidos na análise dos materiais. No entanto, na análise do composto após a autoclavagem, atingiram valores que chegaram a casa de 40. Com isto tivemos uma carga de nitrogênio bem abaixo do esperado, o que, segundo Ferreira (1998), pode prejudicar o desenvolvimento do micélio, uma vez que os microorganismos para se multiplicarem consomem nitrogênio, e, portanto a falta deste componente pode acarretar uma redução da fermentação do meio. Segundo Ferreira (1998) o composto pronto para ser inoculado deve apresentar entre 2,0 a 2,4% de nitrogênio, sendo que o teste que apresentou maior teor de nitrogênio foi o 11H (1,5%), o 06 (1,3%) e o 08 (1,2%) e os que obtiveram menor teor foram os testes 01H (0,6%) e o 03T (0,7%). Os testes 11H e 08, que figuraram entre os que obtiveram maior teor de nitrogênio, atingiram também os melhores resultados de produtividade e eficiência biológica. A distorção ocorrida na relação C/N pode ter sido ocasionada pelos seguintes motivos:

- Possível erro de análise: os resultados obtidos para as análises foram abaixo do previsto pela literatura, o que pode ter levado a adição de uma relação maior de Carbono ao meio.



- Secagem demasiada do material: A espera pela realização das análises (aproximadamente 30 dias) pode ter levado à secagem demasiada do material a ser utilizado nos experimentos, o que ocasionaria a pesagem de uma carga de capim maior (fonte de Carbono) e também levando a uma perda do nitrogênio do meio, especialmente com relação ao esterco.

- Pouca elevação da temperatura da pilha de compostagem: Mesmo com pouca disponibilidade de material, a pilha de compostagem ficou com altura inicial dentro do esperado (1,20 m de altura). No entanto, com a ocorrência da compostagem e a redução esperada do volume da pilha, esta chegou a uma altura de apenas 0,64 m no final do processo, o que pode ter prejudicado a elevação da temperatura do meio, que chegou a uma média máxima da pilha de 52,4 °C.

### 5.7.2 Análise de componentes principais (PCA)

A Tabela 23 representa a matriz de resultados utilizada para Análise de Componentes Principais (PCA), buscando-se auxílio para interpretação e exploração dos dados, conforme descrito na metodologia.

**Tabela 23:** Resultados utilizados para análise de componentes principais.

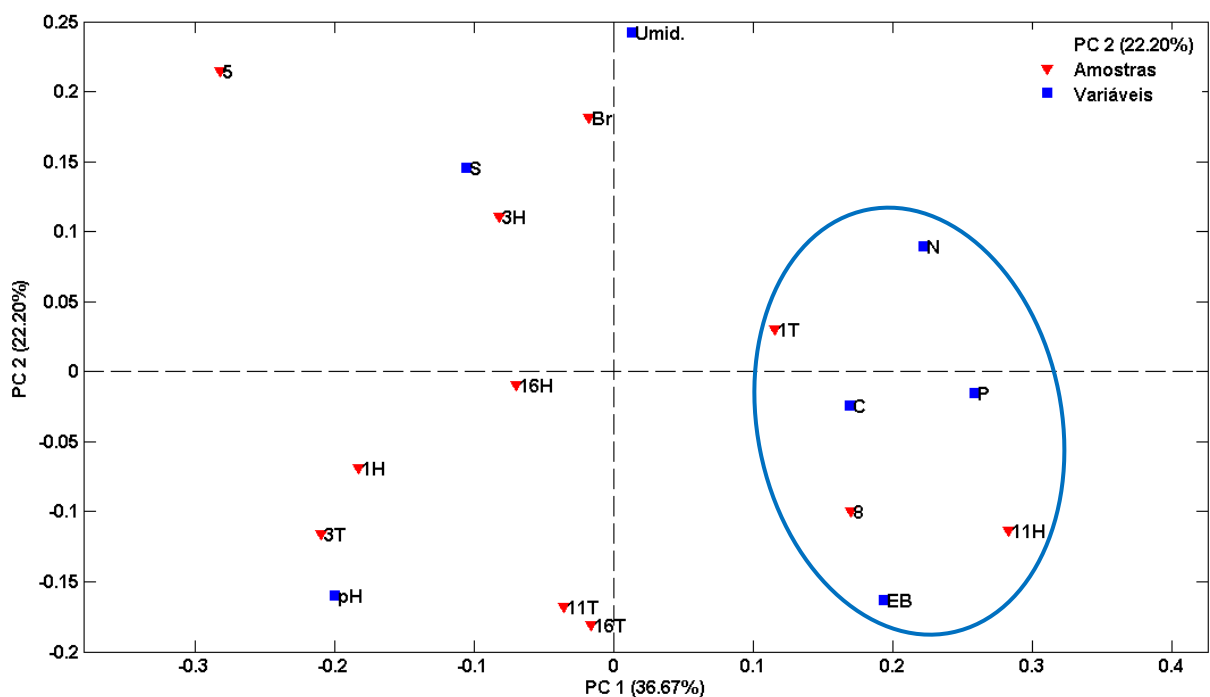
Amostras	PRD	EB	pH	Umid.	P	S	C	N	C/N
1H	0,68	2,91	6,40	76,70	0,60	0,80	18,00	0,60	28,10
1T	0,78	3,61	6,20	78,40	0,60	0,80	37,00	1,00	37,00
5	0,00	0,00	6,50	76,90	0,40	1,40	24,00	1,10	21,80
6	0,46	2,03	5,40	77,40	0,90	0,90	33,00	1,30	25,40
3H	0,00	0,00	6,40	78,30	0,50	0,70	30,00	1,10	27,30
3T	0,12	0,48	6,60	75,10	0,50	0,70	28,00	0,70	40,60
8	1,14	4,79	6,50	76,20	0,80	0,90	32,00	1,20	26,70
11H	1,06	4,25	6,30	75,00	0,90	0,70	28,00	1,50	18,70
11T	0,56	2,10	6,50	73,40	0,60	0,90	35,00	0,90	38,00
16H	0,50	2,12	6,60	76,40	0,70	1,00	26,00	1,00	26,50
16T	0,74	2,79	6,50	73,50	0,70	0,90	30,00	0,90	34,90
Br	0,12	0,56	6,30	78,70	0,80	1,00	27,00	1,00	28,10

Onde: PRD = Produtividade; EB = Eficiência Biológica; Umid. = Umidade; P = Fósforo; S = Enxofre; C = Carbono; N = Nitrogênio; C/N = Relação carbono / nitrogênio.

Fonte: Tabela desenvolvida pelo autor.

A Figura 29 apresenta um diagrama de dispersão de PC1 versus PC2, contendo além dos *loadings*, os *scores* referentes às amostras estudadas. A análise de componentes principais (PCA) resultou em uma explicabilidade de 58,87% da variância total do sistema até o segundo eixo, e 72,37% até o terceiro eixo.

O diagrama de dispersão da análise de componentes principais permite identificar que as amostras que apresentaram maior eficiência biológica (amostras 11H, 8 e 1T), estão agrupadas próximas às variáveis fósforo, carbono e nitrogênio, sob forte influência da primeira componente principal.



**Figura 29:** Diagrama de dispersão da análise de componentes principais (PCA).

Onde: EB = Eficiência Biológica; N = Nitrogênio; P = Fósforo; C = Carbono; S = Enxofre; C/N = Relação carbono / nitrogênio; Umid. = Umidade.

**Fonte:** Gráfico desenvolvido pelo autor.

A Tabela 24 apresenta os autovetores das variáveis nos dois primeiros eixos da ordenação. As variáveis mais correlacionadas com o primeiro componente foram a concentração de fósforo e nitrogênio, com valores superiores a 0,2 no lado positivo, e pH (-0,200) no lado negativo. Quanto ao segundo eixo, as variáveis mais negativamente correlacionadas foram o pH umidade (-0,1600) e eficiência biológica (-0,1634), enquanto a umidade deu origem, no lado positivo, ao maior autovetor (0,2425).

**Tabela 24:** Autovetores das variáveis nas duas primeiras componentes principais

	PC 1 (22,20%)	PC 2 (36,67%)
<b>EB</b>	0,1932	-0,1634
<b>pH</b>	-0,2000	-0,1600
<b>Umid.</b>	0,0131	0,2425
<b>P</b>	0,2586	-0,0154
<b>S</b>	-0,1055	0,1459
<b>C</b>	0,1692	-0,0245
<b>N</b>	0,2216	0,0896

Onde: EB = Eficiência Biológica; Umid. = Umidade; P = Fósforo; S = Enxofre; C = Carbono; N = Nitrogênio.

**Fonte:** Tabela desenvolvida pelo autor.

De fato, a determinação do coeficiente de correlação de Pearson, permite identificar uma correlação significativa entre a eficiência biológica (e produtividade) e a concentração de fósforo nas amostras ( $r = 0,5846$ ,  $P = 0,0459$ ). Todas as demais variáveis não apresentaram correlação significativa com a eficiência biológica ( $P > 0,300$ ), como pode ser observado na Tabela 25.

**Tabela 25:** Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis

Valores de r									
Variáveis	PRD	EB	pH	Umid.	P	S	C	N	C/N
PRD	1								
EB	0,9945	1							
pH	-0,0417	-0,0801	1						
Umid.	-0,3611	-0,2748	-0,3689	1					
P	0,5892	0,5846	-0,5225	-0,0304	1				
S	-0,3237	-0,3237	0,0802	0,1061	-0,2433	1			
C	0,2362	0,2463	-0,3077	-0,0724	0,2091	-0,2303	1		
N	0,2879	0,2857	-0,4411	0,1406	0,5737	0,0624	0,3547	1	
C/N	-0,0947	-0,0964	0,2394	-0,307	-0,3645	-0,3168	0,4083	-0,6774	1

Onde: PRD = Produtividade; EB = Eficiência Biológica; Umid. = Umidade; P = Fósforo; S = Enxofre; C = Carbono; N = Nitrogênio; C/N = Relação carbono / nitrogênio.

**Fonte:** Tabela desenvolvida pelo autor.

O fósforo é um elemento indispensável para a formação e reprodução do núcleo celular (núcleo protéico) do cogumelo. Desta forma o desenvolvimento do cogumelo vai depender diretamente da presença deste elemento na dosagem correta, sendo que a sua falta limita a formação protéica, que é indispensável para o

desenvolvimento e frutificação do cogumelo (MOLENA, 1986). Molena (1986) sugere que seja adicionado na preparação do composto entre 0,1 e 0,12% de superfosfato simples (21% de  $P_2O_5$ ) em relação à palha seca. Nos testes realizados foi adicionado uma relação de 1,15% de super fosfato triplo (42% de  $P_2O_5$ ), representando, portanto, o dobro da dosagem recomendada. Considerando o total de massa seca de materiais adicionados inicialmente, partiu-se de uma concentração de 0,69% de super fosfato triplo, o que equivale a 0,29% de  $P_2O_5$  e 0,13% de fósforo. Os valores obtidos para o elemento fósforo na análise do composto final, variaram entre 0,5 e 0,9%, demonstrando que a maior carga deste elemento foi representada pela presença deste nas palhas utilizadas. A variação dos resultados se justifica pela grande diferença da composição das palhas, conforme podemos observar na Tabela 4 (página 28).

### **5.7.3 Construção e interpretação dos modelos para misturas ternárias**

#### **5.7.3.1 Cálculo dos coeficientes**

O cálculo do coeficiente foi realizado utilizando a variável “eficiência biológica” para construção dos modelos linear, quadrático e cúbico, considerando para isto os sete ensaios mínimos necessários para compor o modelo cúbico conforme apresentado na Tabela 13. A Tabela 26 apresenta o cálculo dos coeficientes utilizando os resultados da palha de milho híbrido no conjunto de misturas mínimas para obtenção de um modelo cúbico, e, a Tabela 27 apresenta o cálculo dos coeficientes utilizando os resultados da palha de milho transgênico.

**Tabela 26:** Cálculo dos coeficientes utilizando os resultados da palha de milho híbrido no conjunto de misturas mínimas para obtenção de um modelo cúbico.

Modelo	Ensaio	Proporção de material vegetal			EB (%) (y <sub>i</sub> )	Coeficiente (b <sub>i</sub> )
		Palha de milho	Palha de arroz	Capim cameron		
Linear	1H	1	0	0	2,9128	2,913
	5	0	1	0	0,0010	0,001
	6	0	0	1	2,0316	2,032
Quadrático	3H	0,50	0,50	0	0,0010	-5,824
	8	0	0,50	0,50	4,7903	15,096
	11H	0,50	0	0,50	4,2467	7,098
Cúbico	16H	0,33	0,33	0,33	2,1222	-36,320

Onde: EB = Eficiência Biológica.

**Fonte:** Tabela desenvolvida pelo autor.

O cálculo do coeficiente do conjunto de misturas mínimas que utilizaram palha de milho híbrido foi realizado conforme sugerido por Barros Neto et al. (2003). Os modelos lineares correspondem aos mesmos valores de eficiência biológica calculado (" $y_1$ " = " $b \cdot 1$ "), enquanto que os modelos quadráticos e cúbico seguem as equações já apresentadas no item 3.5.2 deste trabalho (equações 5, 6, 7 e 8):

$$b_{(1H)} = y_{(1H)} = \mathbf{2,913}$$

$$b_{(5)} = y_{(5)} = \mathbf{0,001}$$

$$b_{(6)} = y_{(6)} = \mathbf{2,032}$$

$$b_{(3H)} = 4y_{(3H)} - 2(y_{(1H)} + y_{(5)}) = (4 \times 0,0010) - 2 \times (2,9128 + 0,0010) = \mathbf{-5,824}$$

$$b_{(8)} = 4y_{(8)} - 2(y_{(5)} + y_{(6)}) = (4 \times 4,7903) - 2 \times (0,0010 + 2,0316) = \mathbf{15,096}$$

$$b_{(11H)} = 4y_{(11H)} - 2(y_{(1H)} + y_{(6)}) = (4 \times 4,2467) - 2 \times (2,9128 + 2,0316) = \mathbf{7,098}$$

$$b_{(16H)} = 27y_{(16H)} - 12(y_{(3H)} + y_{(11H)} + y_{(8)}) + 3(y_{(1H)} + y_{(5)} + y_{(6)}) = (27 \times 2,1222) - 12 \times (0,0010 + 4,2467 + 4,7903) + 3 \times (2,9128 + 0,0010 + 2,0316) = \mathbf{-36,320}$$

**Tabela 27:** Cálculo dos coeficientes utilizando os resultados da palha de milho transgênico no conjunto de misturas mínimas para obtenção de um modelo cúbico.

Modelo	Ensaio	Proporção de material vegetal			EB (%) (y <sub>i</sub> )	Coeficiente (b <sub>i</sub> )
		Palha de milho	Palha de arroz	Capim cameron		
Linear	1T	1	0	0	3,6089	3,610
	5	0	1	0	0,0010	0,001
	6	0	0	1	2,0316	2,032
Quadrático	3T	0,50	0,50	0	0,4827	-5,289
	8	0	0,50	0,50	4,7903	15,095
	11T	0,50	0	0,50	2,1044	-2,864
Cúbico	16T	0,33	0,33	0,33	2,7894	3,711

Onde: EB = Eficiência Biológica.

Fonte: Tabela desenvolvida pelo autor.

O cálculo do coeficiente do conjunto de misturas mínimas que utilizaram palha de milho transgênico foi realizado conforme equações abaixo:

$$b_{(1T)} = y_{(1T)} = \mathbf{3,610}$$

$$b_{(5)} = y_{(5)} = \mathbf{0,001}$$

$$b_{(6)} = y_{(6)} = \mathbf{2,032}$$

$$b_{(3T)} = 4y_{(3T)} - 2(y_{(1T)} + y_{(5)}) = (4 \times 0,4827) - 2 \times (3,6089 + 0,0010) = \mathbf{-5,289}$$

$$b_{(8)} = 4y_{(8)} - 2(y_{(5)} + y_{(6)}) = (4 \times 4,7903) - 2 \times (0,0010 + 2,0316) = \mathbf{15,095}$$

$$b_{(11T)} = 4y_{(11T)} - 2(y_{(1T)} + y_{(6)}) = (4 \times 2,1044) - 2 \times (3,6089 + 2,0316) = \mathbf{2,864}$$

$$b_{(16T)} = 27y_{(16T)} - 12(y_{(3T)} + y_{(11T)} + y_{(8)}) + 3(y_{(1T)} + y_{(5)} + y_{(6)}) = (27 \times 2,7894) - 12 \times (0,4827 + 2,1044 + 4,7903) + 3 \times (3,6089 + 0,0010 + 2,0316) = \mathbf{3,711}$$

### 5.7.3.2 Teste dos modelos

Com base nos resultados obtidos, o modelo foi testado para prever os resultados de uma mistura com o uso dos modelos cúbico, quadrático e linear. A mistura considerada para teste dos modelos foi a mistura 1/3; 1/3; 1/3 (palha de milho; palha de arroz; capim cameron):

Teste utilizando **modelo linear** para a palha de milho híbrido:

$$Y_{(16H \text{ calculado})} = (X_{(1)} \times b_{(1H)} + X_{(2)} \times b_{(5)} + X_{(3)} \times b_{(6)});$$

$$Y_{(16H \text{ calculado})} = (0,33 \times 2,9128 + 0,33 \times 0,0010 + 0,33 \times 2,0316) = \mathbf{1,6321}$$

Teste utilizando **modelo quadrático** para a palha de milho híbrido:

$$Y_{(16H \text{ calculado})} = (X_{(1)} \times b_{(1H)} + X_{(2)} \times b_{(5)} + X_{(3)} \times b_{(6)}) + (X_{(1)} \times X_{(2)} \times b_{(3H)} + X_{(1)} \times X_{(3)} \times b_{(11H)} + X_{(2)} \times X_{(3)} \times b_{(8)});$$

$$Y_{(16H \text{ calculado})} = (0,33 \times 2,9128 + 0,33 \times 0,0010 + 0,33 \times 2,0316) + (0,33 \times 0,33 \times -5,8236 + 0,33 \times 0,33 \times 7,0981 + 0,33 \times 0,33 \times 15,0958) = \mathbf{3,4148}$$

Teste utilizando **modelo cúbico** para a palha de milho híbrido:

$$Y_{(16H \text{ calculado})} = (X_{(1)} \times b_{(1H)} + X_{(2)} \times b_{(5)} + X_{(3)} \times b_{(6)}) + (X_{(1)} \times X_{(2)} \times b_{(3H)} + X_{(1)} \times X_{(3)} \times b_{(11H)} + X_{(2)} \times X_{(3)} \times b_{(8)}) + (X_{(1)} \times X_{(2)} \times X_{(3)} \times b_{(16H)});$$

$$Y_{(16H \text{ calculado})} = (0,33 \times 2,9128 + 0,33 \times 0,0010 + 0,33 \times 2,0316) + (0,33 \times 0,33 \times -5,8236 + 0,33 \times 0,33 \times 7,0981 + 0,33 \times 0,33 \times 15,0958) + (0,33 \times 0,33 \times 0,33 \times -36,3205) = \mathbf{2,1096}$$

Teste utilizando **modelo linear** para a palha de milho transgênico:

$$Y_{(16T \text{ calculado})} = (X_{(1)} \times b_{(1T)} + X_{(2)} \times b_{(5)} + X_{(3)} \times b_{(6)});$$

$$Y_{(16T \text{ calculado})} = (0,33 \times 3,6089 + 0,33 \times 0,0010 + 0,33 \times 2,0316) = \mathbf{1,8617}$$

Teste utilizando **modelo quadrático** para a palha de milho transgênico:

$$Y_{(16T \text{ calculado})} = (X_{(1)} \times b_{(1T)} + X_{(2)} \times b_{(5)} + X_{(3)} \times b_{(6)}) + (X_{(1)} \times X_{(2)} \times b_{(3T)} + X_{(1)} \times X_{(3)} \times b_{(11T)} + X_{(2)} \times X_{(3)} \times b_{(8)});$$

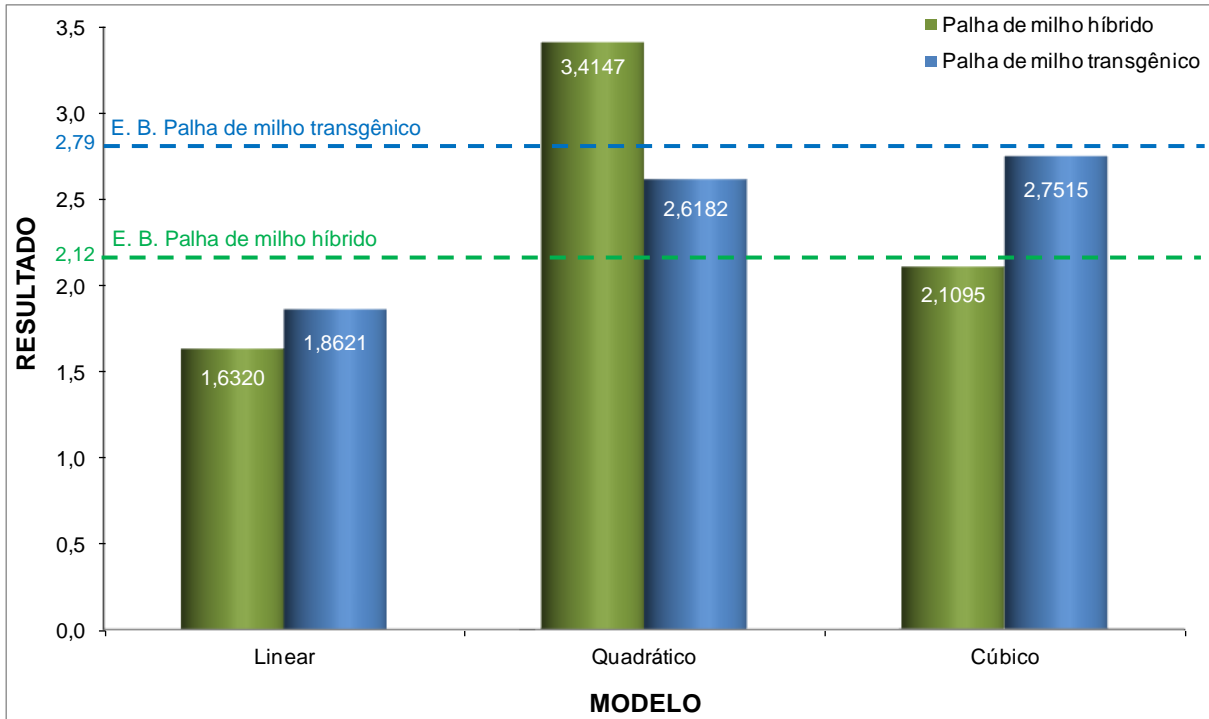
$$Y_{(16T \text{ calculado})} = (0,33 \times 3,6089 + 0,33 \times 0,0010 + 0,33 \times 2,0316) + (0,33 \times 0,33 \times -5,28882 + 0,33 \times 0,33 \times -2,86344 + 0,33 \times 0,33 \times 15,0958) = \mathbf{2,6178}$$

Teste utilizando **modelo cúbico** para a palha de milho transgênico:

$$Y_{(16T \text{ calculado})} = (X_{(1)} \times b_{(1T)} + X_{(2)} \times b_{(5)} + X_{(3)} \times b_{(6)}) + (X_{(1)} \times X_{(2)} \times b_{(3T)} + X_{(1)} \times X_{(3)} \times b_{(11T)} + X_{(2)} \times X_{(3)} \times b_{(8)}) + (X_{(1)} \times X_{(2)} \times X_{(3)} \times b_{(16T)});$$

$$Y_{(16T \text{ calculado})} = (0,33 \times 3,6089 + 0,33 \times 0,0010 + 0,33 \times 2,0316) + (0,33 \times 0,33 \times -5,28882 + 0,33 \times 0,33 \times -2,8634 + 0,33 \times 0,33 \times 15,0958) + (0,33 \times 0,33 \times 0,33 \times 3,7107) = \mathbf{2,7512}$$

A Figura 30 apresenta na forma gráfica, os resultados dos testes dos modelos para o teste 16H (com palha de milho híbrido) e 16T (com palha de milho transgênico). As linhas pontilhadas representam os valores reais de eficiência biológica obtidos para as respectivas amostras de referência.



**Figura 30:** Teste dos modelos linear, quadrático e cúbico, comparando com resultado obtido para a amostra 16H, utilizando palha de milho híbrido (linha pontilhada verde) e para a amostra 16T, utilizando palha de milho transgênico (linha pontilhada azul).

**Fonte:** Gráfico desenvolvido pelo autor.

Os modelos construídos para as misturas com palha de milho híbrido, indicaram uma melhor previsão com o uso do modelo cúbico, ficando apenas 0,5% abaixo do valor de eficiência biológica medida para o teste. O modelo quadrático apresentou um valor superior em 61,1% do valor medido, enquanto que o modelo linear apresentou valor 23% inferior.

Os modelos construídos para as misturas com palha de milho transgênico, indicaram também, uma melhor previsão com o uso do modelo cúbico, 1,4% abaixo do valor de eficiência biológica medida para o teste. No entanto, o modelo quadrático também apresentou valor próximo do valor medido (6,1% acima). Da mesma forma que para o modelo com palha de milho híbrido, o modelo linear com palha de milho transgênico também apresentou valor inferior, 33,3% abaixo do valor medido no teste.



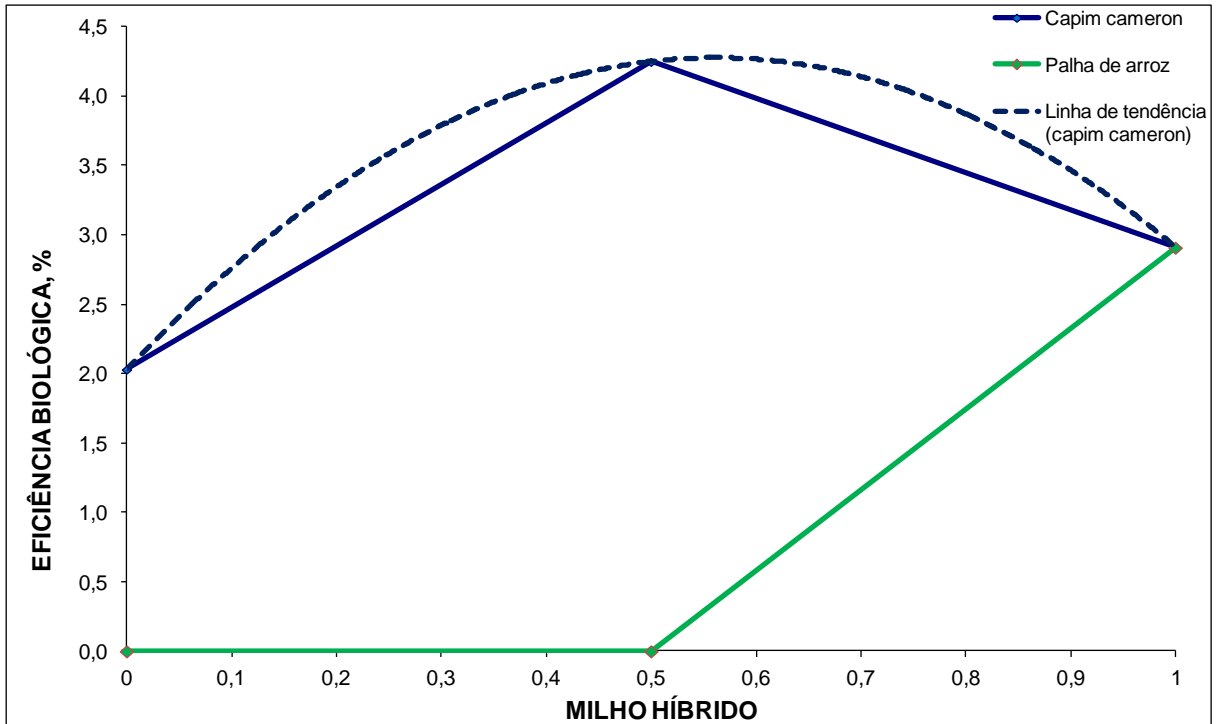
### 5.7.3.3 Avaliação de misturas binárias

A interpretação dos resultados obtidos entre misturas binárias permite determinar se estes apresentavam efeitos sinérgicos ou antagônicos entre si. A Figura 31 apresenta os resultados de eficiência biológica entre as misturas binárias palha de milho híbrido com capim cameron e palha de arroz. A Figura 32 representa os resultados de eficiência biológica entre as misturas binárias de palha de milho transgênico com capim cameron e palha de arroz. E a Figura 33 corresponde aos resultados de eficiência biológica entre as misturas binárias de capim cameron e palha de arroz.

Na Figura 31, que envolve a mistura binária de capim cameron com palha de milho híbrido, podemos observar um forte efeito sinérgico destas misturas. Quando se observa a linha de tendência de eficiência biológica para esta mistura, verifica-se que a melhor eficiência seria obtida para uma mistura na ordem de 60% de palha de milho e 40% de capim cameron.

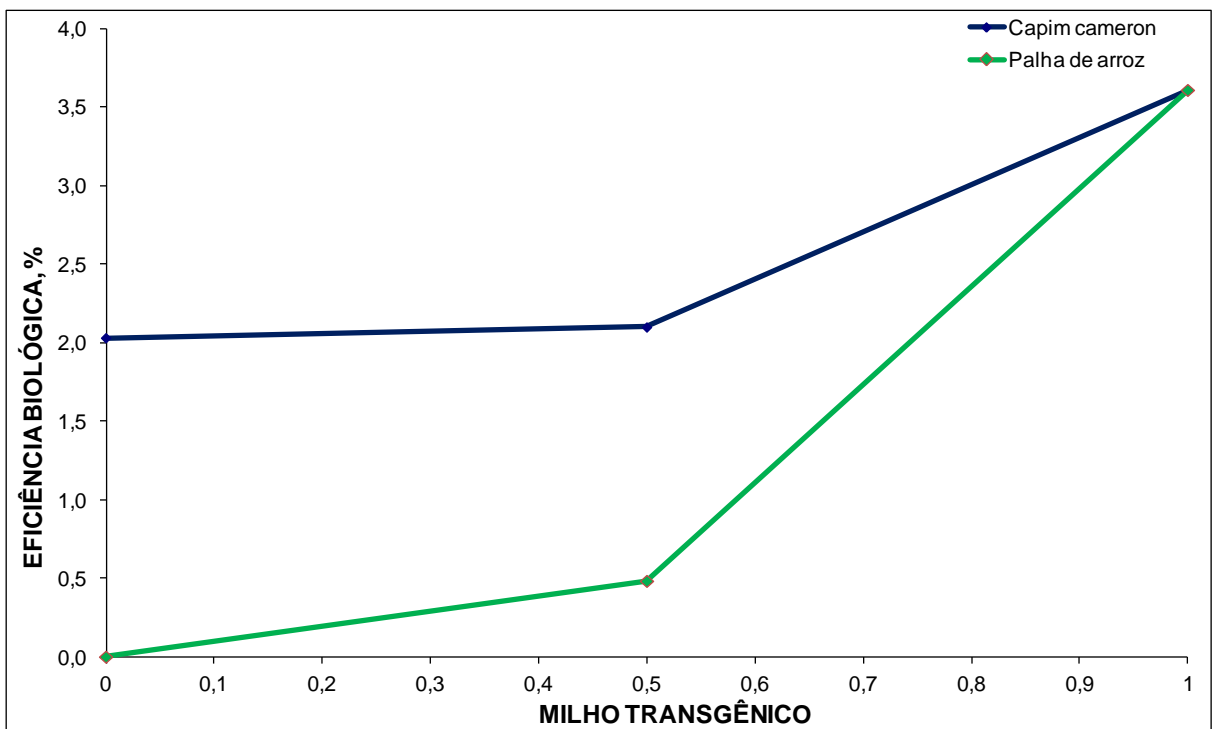
Nas misturas de palha de milho transgênico e capim cameron, não se observa uma relação linear quanto à eficiência biológica. No entanto, através da Figura 32 se pode observar aumentos significativos de eficiência biológica quando as misturas apresentam concentração de palha de milho transgênico superiores a 60%.

As figuras 31 e 32, que envolvem misturas de palha de arroz com palha de milho híbrido e transgênico, demonstraram similaridades, apresentando valores praticamente nulos de eficiência biológica quando temos a palha de arroz pura ou em mistura binária. No entanto, observa-se aumento significativo de eficiência biológica quando as misturas passam a conter proporção maior de palha de milho (híbrido ou transgênico).



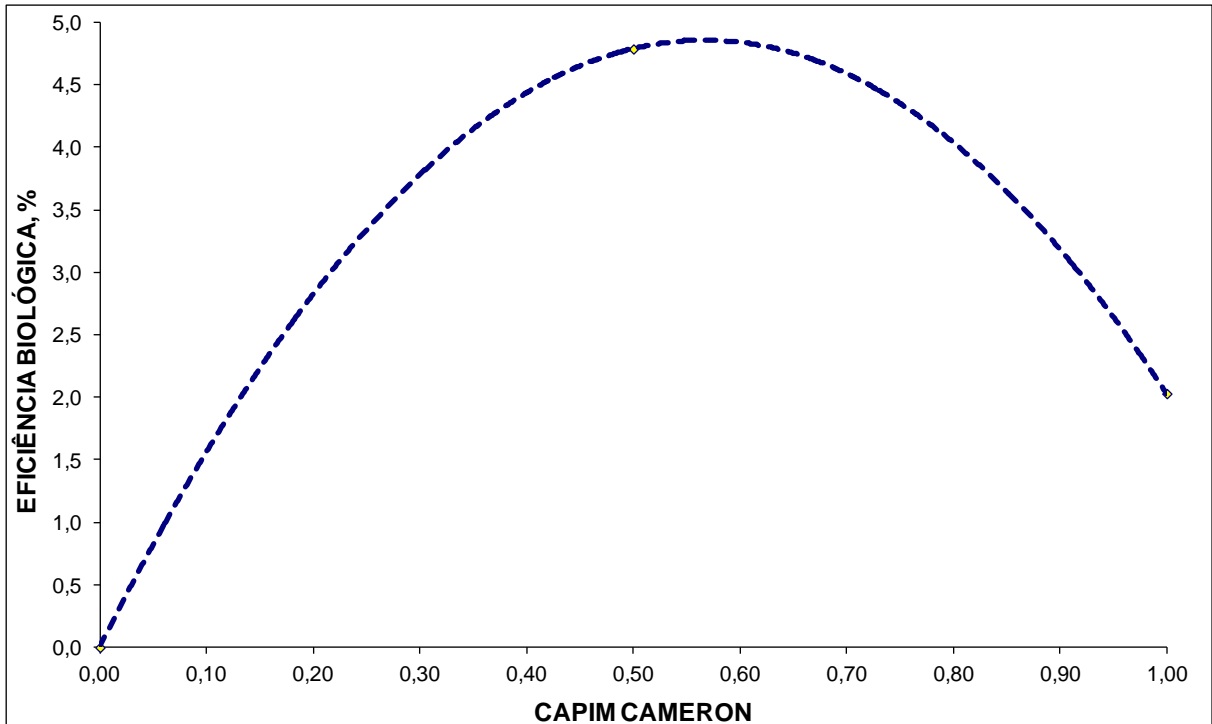
**Figura 31:** Gráfico que apresenta os resultados de eficiência biológica entre misturas binárias de palha de milho híbrido com capim cameron e palha de arroz.

**Fonte:** Gráfico desenvolvido pelo autor.



**Figura 32:** Gráfico que apresenta os resultados de eficiência biológica entre misturas binárias de palha de milho transgênico com capim cameron e palha de arroz.

**Fonte:** Gráfico desenvolvido pelo autor.



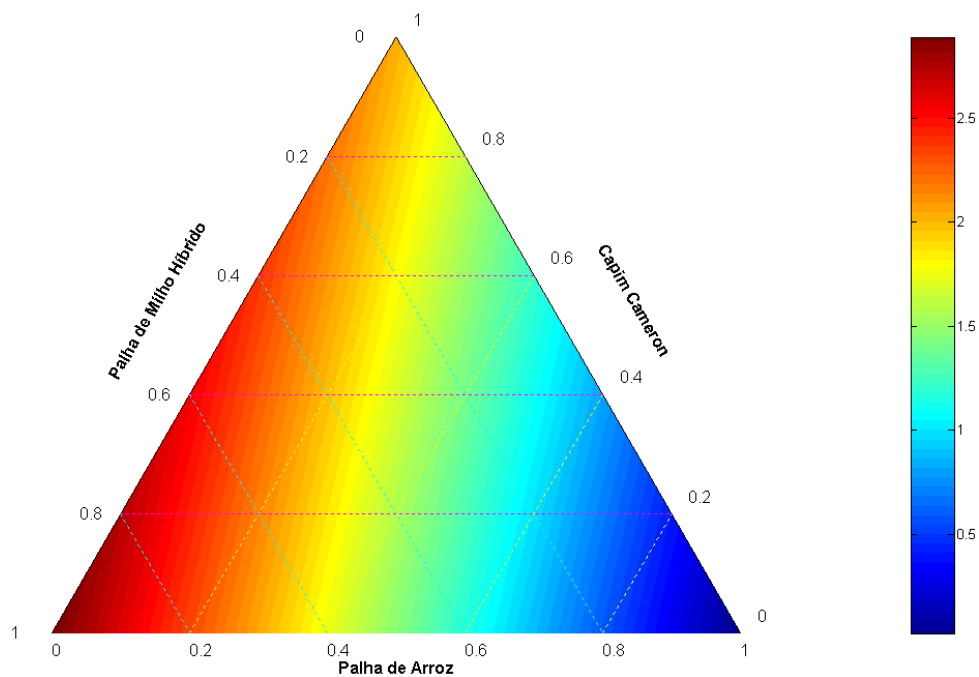
**Figura 33:** Gráfico que apresenta a linha de tendência e os resultados de eficiência biológica entre misturas binárias de capim cameron e palha de arroz.

**Fonte:** Gráfico desenvolvido pelo autor.

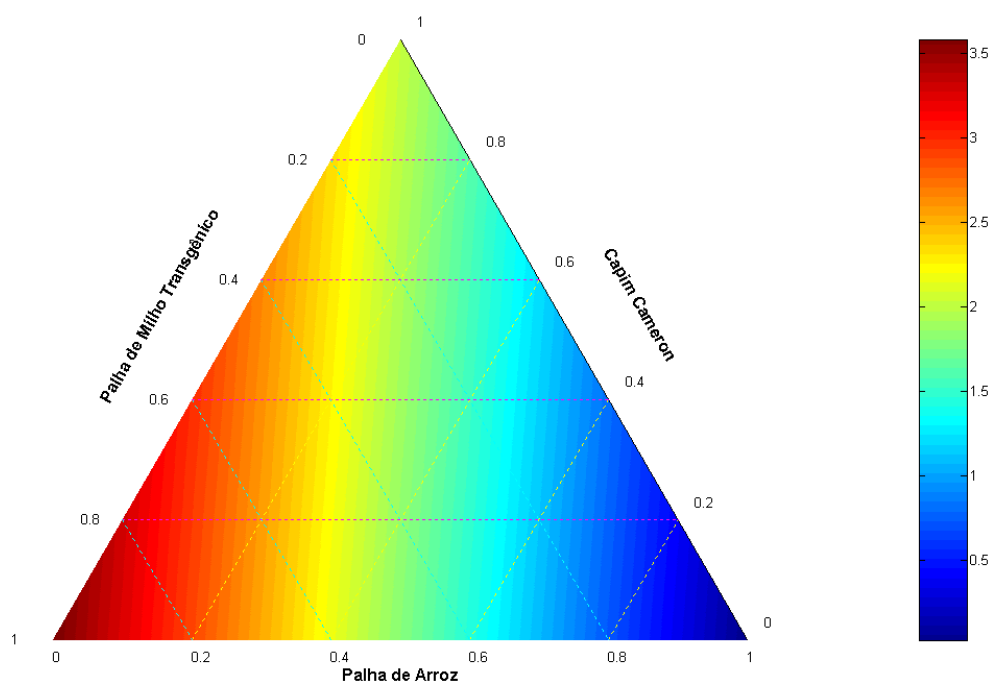
Apesar dos ensaios com palha de arroz pura indicarem a ausência de eficiência biológica, se observa na Figura 33 um efeito sinérgico na eficiência biológica pela mistura de capim cameron e palha de arroz. A linha de tendência desta mistura mostra valores maiores de eficiência biológica para as misturas de 0,55 de capim cameron e 0,45 de palha de arroz.

#### 5.7.3.4 Avaliação dos diagramas de misturas ternárias

Nesta seção é apresentada a interação das misturas ternárias, tratando separadamente as misturas envolvendo palha de milho híbrido e transgênico, sendo que, as figuras 34 e 35 apresentam os modelos lineares das misturas, as figuras 36 e 37 representam os modelos quadráticos e as figuras 38 e 39 representam os modelos cúbicos.

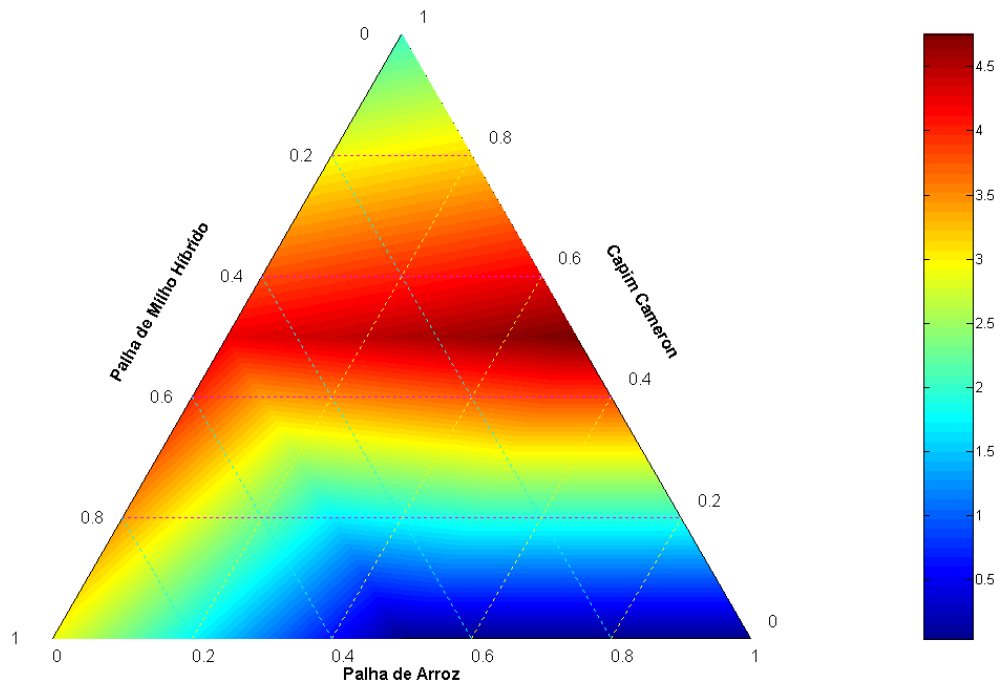


**Figura 34:** Superfície de resposta de um modelo linear para mistura de três componentes utilizando misturas de palha de milho híbrido, palha de arroz e capim cameron.  
**Fonte:** Modelo produzido pelo autor.



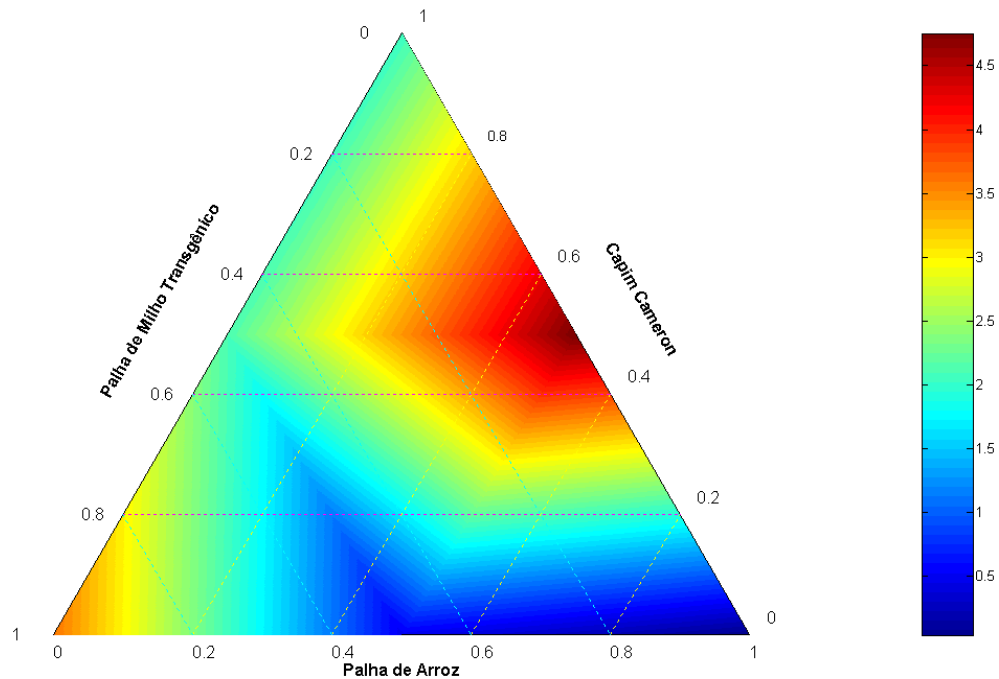
**Figura 35:** Superfície de resposta de um modelo linear para mistura de três componentes utilizando misturas de palha de milho transgênico, palha de arroz e capim cameron.  
**Fonte:** Modelo produzido pelo autor.

Analisando os modelos lineares, percebemos que os melhores desempenhos são obtidos quando temos as palhas de milho híbrido e transgênico puras, não permitindo a identificação de efeitos sinérgicos entre as misturas. Estes modelos confirmam as tendências apresentadas nos gráficos 33 e 34, onde são apresentadas as misturas binárias com maiores valores de eficiência biológica para as extremidades, onde temos a presença das palhas de milho puras.



**Figura 36:** Superfície de resposta de um modelo quadrático para mistura de três componentes utilizando misturas de palha de milho híbrido, palha de arroz e capim cameron.

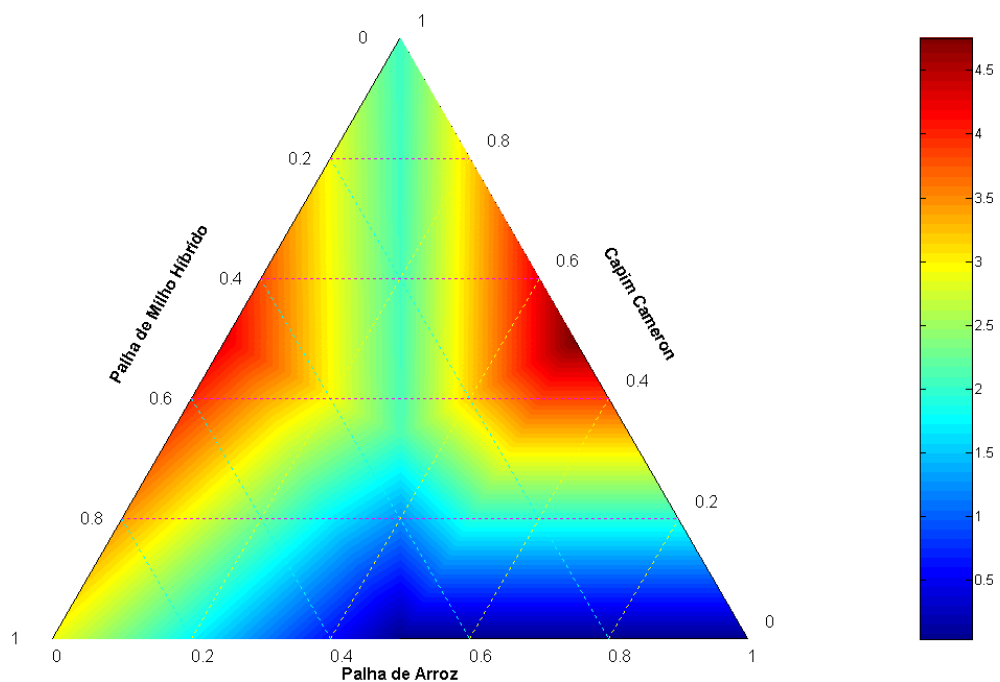
**Fonte:** Modelo produzido pelo autor.



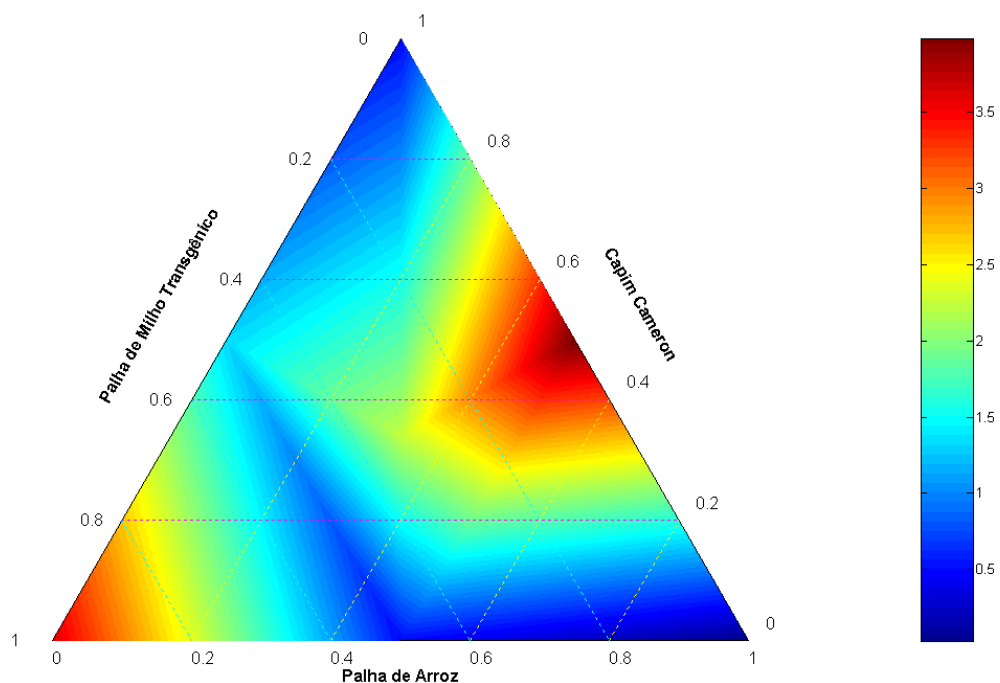
**Figura 37:** Superfície de resposta de um modelo quadrático para mistura de três componentes utilizando misturas de palha de milho transgênico, palha de arroz e capim cameron.

**Fonte:** Modelo produzido pelo autor.

Quando se analisa os modelos quadráticos, percebe-se que o modelo linear não é adequado para descrever a mistura dos três componentes, pois nos gráficos apresentados para as misturas ternárias com o modelo quadrático já se observa uma maior interação sinérgica nas misturas binárias que envolvem palha de arroz e capim cameron e para as misturas que envolvem palha de milho híbrido e capim cameron, considerando o modelo que utiliza palha de milho híbrido na mistura (Figura 36). Também no modelo que utiliza palha de milho transgênico na mistura (Figura 37), novamente percebe-se uma interação sinérgica, representada pela mistura de palha de arroz e capim cameron. O modelo quadrático, que utiliza palha de milho híbrido na mistura (Figura 36), ainda indica que a região central ( $1/3, 1/3, 1/3$ ) seria também uma região de alta produtividade. No entanto, quando se analisa o modelo cúbico (Figura 38) esta tendência não se confirma. Os modelos ternários reproduziram exatamente os efeitos sinérgicos demonstrados através dos gráficos de modelos binários (figuras 31, 32 e 33).



**Figura 38:** Superfície de resposta de um modelo cúbico para mistura de três componentes utilizando misturas de palha de milho híbrido, palha de arroz e capim cameron.  
**Fonte:** Modelo produzido pelo autor.



**Figura 39:** Superfície de resposta de um modelo cúbico para mistura de três componentes utilizando misturas de palha de milho transgênico, palha de arroz e capim cameron.  
**Fonte:** Modelo produzido pelo autor.

Na avaliação do modelo cúbico que utiliza palha de milho híbrido na mistura (Figura 38), podemos perceber diferença quando comparado este com o modelo quadrático, uma vez que o modelo não apresenta sinergia na região central conforme indicado pelo modelo quadrático. Desconsiderando isto, se pode dizer que as demais tendências se confirmam, apresentando maior interação nas misturas binárias que envolvem palha de arroz e capim cameron e para as misturas que envolvem palha de milho híbrido e capim cameron.

No modelo quadrático, envolvendo palha de milho transgênico (Figura 39), o teste com modelo cúbico confirma a tendência apresentada pelo modelo quadrático, apontando um melhor desempenho para as misturas de capim cameron e palha de arroz.



## 6 CONCLUSÕES

No desenvolvimento deste estudo, a etapa exploratória permitiu um maior conhecimento dos resíduos agrícolas e gramíneas de corte disponíveis na região do Vale do Rio Taquari, identificando a palha de arroz, a palha de milho (híbrido e transgênico) e o capim cameron, como as melhores alternativas para produção do cogumelo *Agaricus bisporus*.

O uso do planejamento experimental com modelagem de misturas ternárias foi uma ferramenta fundamental para minimizar a quantidade de testes necessários para descrever efeitos sinérgicos ou antagônicos de misturas destes materiais, sobre a eficiência biológica na produção de *Agaricus bisporus*.

De forma geral, os resultados de produtividade e eficiência biológica foram muito inferiores aos apresentados na literatura, comprovando, no entanto, que o uso do método de autoclavagem para desinfestação do composto acarreta um crescimento micelial inferior às demais técnicas.

Esta baixa produtividade, e conseqüente baixa eficiência biológica, podem estar associadas, também, às variáveis do processo, como:

- Pouca elevação da temperatura média da pilha de compostagem em função da sua pouca altura;
- Contaminação do composto durante o processo de autoclavagem;
- Pouco tempo de autoclavagem;
- Alta relação C/N obtida no final do processo de autoclavagem;
- pH final do composto após autoclavagem abaixo do esperado;
- Presença de contaminações que levaram à necessidade de eliminação de cinco amostras.

A análise de componentes principais (PCA), foi uma ferramenta importante para auxiliar na interpretação e exploração dos dados obtidos, levando a concluir que as amostras que apresentaram maior eficiência biológica e produtividade, apresentaram forte influência das variáveis fósforo e carbono. A determinação do coeficiente de correlação de Pearson permitiu também identificar uma correlação significativa entre a eficiência biológica (e produtividade) e a concentração de fósforo nas amostras ( $r = 0,5846$ ,  $PRD = 0,0459$ ). Isto nos comprova que o fósforo é um

elemento fundamental, que representa um fator limitante para o desenvolvimento e frutificação do cogumelo.

A construção e interpretação dos modelos para misturas ternárias levaram a conclusão de que, tratando-se da utilização de materiais puros (isentos de misturas com outras palhas), o melhor desempenho foi identificado quando há presença de palha de milho transgênico (eficiência biológica = 3,61%) e palha de milho híbrido (eficiência biológica = 2,91%). Já quando se verifica os melhores desempenhos para misturas binárias, destaca-se o capim cameron em mistura com palha de arroz (eficiência biológica = 4,79%), sendo que a melhor relação para esta mistura se daria na faixa de 55% de capim cameron e 45% de palha de arroz. A mistura binária de capim cameron com palha de milho híbrido também apresentou uma eficiência biológica relativamente alta (4,25%). A melhor relação obtida para esta mistura se daria na relação de 60% de palha de milho híbrido para e 40% de capim cameron.

Avaliando isoladamente o teste que apresentou o melhor desempenho (com 50% de palha de arroz e 50% de capim cameron), além de apresentar um dos maiores teores de fósforo no composto, este apresentou uma combinação de outras características interessantes, como um valor de pH entre os mais elevados (6,5), relação C/N relativamente baixa (26,7) e um dos maiores teores de nitrogênio (1,2%).

Os resultados obtidos permitiram identificar, também, que o composto produzido a partir da palha de milho transgênico apresentou uma eficiência biológica 24% superior a da palha de milho híbrido. Já na avaliação da presença destes materiais em misturas binárias, o melhor desempenho foi para o teste que utilizava a mistura de palha de milho híbrido com capim cameron, com eficiência biológica de 4,25%. Em misturas ternárias, a melhor eficiência biológica (2,79%), foi obtida nos testes com palha de milho transgênico.

Cabe salientar, que a baixa eficiência biológica neste estudo, de forma geral, indica a necessidade de desenvolvimento de trabalhos futuros, com maior investimento no controle das etapas intermediárias do processo, buscando ajustar o desempenho ao apresentado na literatura.

## 7. REFERÊNCIAS

1. ALTIERI, R.; ESPOSITO, A.; PARATI, F.; LOBIANCO, A.; PEPI, M. *Performance of olive mill solid waste as a constituent of the substrate in commercial cultivation of Agaricus bisporus*. International Biodeterioration & Biodegradation. Elsevier. 2009, p. 993-997.
2. ANDRADE, M. C. N.; ZIED, D. C. ; MINHONI, M. T. A.; YOPYTOWSYI FILHO, J. *Yield of four Agaricus bisporus strains in three compost formulations and Chemical composition analyses of the mushrooms*. Brazilian Journal of Microbiology. 2008, p. 593-598
3. APATI, Giannini Pasiznicy. *Secagem e resfriamento a vácuo de cogumelos comestíveis da espécie pleurotus ostreatus dsm 1833*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
4. BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. *Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria*. 2. ed. Campinas, UNICAMP, 2003.
5. BARROS, Y. J. *Indicadores Biológicos de Qualidade de Solos de Área de Mineração e Processamento de Chumbo, no Município de Adrianópolis (PR)*. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.
6. BERNARDI, Eduardo. *Utilização de substrato para cultivo axênico e pasteurizado do cogumelo Pleurotus spp*. Tese (Programa de pós-graduação em sistemas de produção agrícola familiar da universidade federal de Pelotas) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2010.
7. BONONI, V. L.; CAPELARI, M.; MAZIERO, R.; TRUFEM, S. F. B. *Cultivo de Cogumelos Comestíveis*. São Paulo: Ícone, 1999. 206 p.

8. BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G.; HUNTER, J. S. *Statistics for experimenters*. New York: J. Wiley, 1978.
9. BRASIL. Instrução Normativa Conjunta n. 01, de 10 de setembro de 2002. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 11 set. 2002. Disponível em <<http://www.in.gov.br/visualiza/index.jsp?data=11/09/2002&jornal=1&pagina=11&totalArquivos=88>>. Acesso em: 29 jan. 2012.
10. BRERETON, R. G. *Chemometrics: Data Analysis for the Laboratory and Chemical Plant*. Chichester, Wiley, 2003.
11. CAFAGGI, S., LEARDI, R., PARODI, B., CAVIGLIOLI, G., BIGNARDI, G. *An example of application of a mixture design with constraints to a pharmaceutical formulation*. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 2002, p. 139-147.
12. CAMPBELL, Stu. *Manual de compostagem para hortas e jardins: como aproveitar bem o lixo orgânico doméstico*. São Paulo: Nobel, 1995.
13. CAMPOS, L. F. A.; AMORIM, L. V.; FERREIRA, H. C. *Utilização do planejamento experimental no estudo do efeito da composição de misturas de bentonitas na reologia de fluidos de perfuração. Parte I: composições binárias*. [S.l.]: Cerâmica, 2006, p. 69-75.
14. CHANG, S. T.; MILES, P. G. *Mushrooms: cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact*. 2. ed. Boca Raton: CRC, 2004.
15. DUPRAT, L. A.; SOUZA, J. V. *Análise da comercialização e do consumo de cogumelos comestíveis no mercado do Distrito Federal e entorno*. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (Embrapa). Brasília, v. 48, 48 p., abr. 2003.
16. EIRA, Antônio Ferreira. Cultivo de cogumelos (compostagem, condução e ambiente). In: Anais da III Reunião itinerante de fitossanidade do instituto biológico. Mogi das Cruzes. 2000, p. 140-162.

17. EMATER-RS. *Regional Lajeado*: <<http://www.emater.tche.br/site/regionais/lajeado.php>>. Acesso em: 14 fev. 2012.
  
18. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Brasil e Coreia discutem a produção atual e as perspectivas para a indústria de cogumelos comestíveis*. Brasília. Disponível em <<http://www.embrapa.br/embrapa/imprensa/noticias/2010/agosto/1a-semana/brasil-e-coreia-discutem-a-producao-atual-e-as-perspectivas-para-a-industria-de-cogumelos-comestiveis,2010>>. Acesso em: 07 set. 2010.
  
19. ERIKSON, L.; JOHANSSON, E.; KETTANEH-WOLD, N.; TRYGG, J.; WIKSTROM, C.; WOLD, S. *Multivariate and Megavariate Data Analysis Advanced Applications and Method Extensions (Part II)*. 2. ed. Malmö, Sweden: Umetrics AB, , 2006.
  
20. ERIYSSON, L., JOHANSSON, E., YETTANEH-WOLD, N., WIYSTRÖM, C. e WOLD, S. *Design of Experiments: Principles and Applications*. Umetrics AB. 2008. 425 p.
  
21. FERREIRA, José Emídio Farias, *Produção de Cogumelos*. São Paulo: Editora Agropecuária, 1998. 136 p.
  
22. FURLANI, R. P. Z, GODOY, H.T. *Valor nutricional de cogumelos comestíveis*. Campinas: Ciência e Tecnologia de Alimentos. p.154-157, jan.-mar. 2007.
  
23. GIBBONS, W.R., MAHER, A.A., TODD, R.L. *Button mushroom production in synthetic compost derived from agricultural wastes*. [S.l.]: Biosource Technology, 1991, v.38, n.1, p.65-77.
  
24. HERRERA, Ozana Maria. *Produção, economicidade e parâmetros energéticos do cogumelo *Agaricus blazei*: um enfoque na cadeia produtiva*. Tese (Doutorado em Defesa Fitossanitária) - Departamento de Defesa Fitossanitária, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Unesp, Botucatu, 2001.

25. HILLIG, E.; HASELEIN C.R.; IWAYIRI, S. *Modelagem de misturas de três espécies de madeiras na fabricação de chapas aglomeradas estruturais*. [S.l.]: Revista Floresta, v. 33, n. 3, 2003, p. 311-320.
26. LOSS, Edenes Maria Schroll. *Aproveitamento de resíduos da cadeia produtiva do milho para cultivo de cogumelos comestíveis*. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2009.
27. MAIO, C. S. S.; PADILHA, E.; CORRÊA, F. V.; COSTA, J. A. V. *Influência da Composição do Substrato na Velocidade de Crescimento do Cogumelo Comestível Pleurotus ostreatus*. XIV Simpósio Internacional de Fermentações, 2003.
28. MITIDIERI, José. *Manual de gramíneas e leguminosas para pastos tropicais*. São Paulo: Nobel: EDUSP, 1983.
29. MOLENA, Oscar. *O moderno cultivo de cogumelos*. São Paulo: Nobel, 1986.
30. MORGANO, M. A.; QUEIROZ, S. C. N.; FERREIRA M. M. C. *Aplicação da Análise Exploratória na Diferenciação de Vegetais*. *Revista Brasileira de Tecnologia de Alimentos*, Campinas, n. 2, v. 2, p73-79, 1999.
31. PEDRA, W. N.; MARINO, R. H. *Cultivo axênico de pleurotus spp. em serragem da casca de coco (cocos nucifera linn.) suplementada com farelo de arroz e/ou de trigo*. *Arquivos do Instituto Biológico*. São Paulo, v.73, n.2, abr.-jun. 2006, p.219-225.
32. PEIL, R. M.; ROSSETTO, E.A.; ROCHA, M.T.R. *Rendimento do cogumelo Agaricus bisporus (lange) imbach em três formulações de compostos*. Pelotas: *Revista Brasileira de Agrociências*, v. 1, n. 3, p. 163-166, set.-dez. 1995.
33. PEIL, R.M.; ROSSETO, E.A.; PIEROBOM, C.R.; ROCHA, M.T. *Desinfestação de composto para cultivo de cogumelo Agaricus bisporus (Lange) Imbach*. Pelotas: *Revista Brasileira de Agrociências*, v. 2, n. 3., p. 159-164, set.-dez. 1996.

34. PORTAL DE AGRONOMIA. *Capim Elefante Paraíso na produção de energia*. Disponível em: <[http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos\\_capim\\_elefante\\_paraíso\\_producao\\_energia.html](http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos_capim_elefante_paraíso_producao_energia.html)>. Acesso em: 14 fev. 2012.
35. PORTAL DO AGRONEGÓCIO. *Aumenta a utilização de milho transgênico na produção de silagem*. Disponível em: <<http://www.portaldoagronegocio.com.br/conteudo.php?id=45203>>. Acesso em: 10 dez. 2010.
36. SINDICATO RURAL DE MOGI DAS CRUZES. *Plantar e Colher - Champignon*. Disponível em: <<http://www.sindicatoruralmc.com.br/champignon.html>>. Acesso em: 06 fev. 2012.
37. PUTZYE, J.; PUTZYE, M.T.L. *Os reinos dos fungos*. 2. ed. Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 2004.
38. RIO GRANDE DO SUL. *Portal do estado do Rio Grande do Sul*. Coredes Vale do Taquari e Vale do Rio Pardo conhecem propostas rumo a 2015. Disponível em: <<http://www.rs.gov.br/direciona.php?yey=Y2FwYT0xJmludD1ub3RpY2lhJm5vdGlyPTQ2NDg5JnBhZz0xMzy0JmVyaXRvcmlhPSZtaWRpYT0mbWVudT0mb3JpZz0x>> Acesso em: 20 nov. 2010.
39. SANTOS, A. R. *Metodologia científica: a construção do conhecimento*. 3. ed. Rio de Janeiro: DP&A, 2000.
40. SANTOS, C. J. *Atividade antifúngica in vitro de própolis em fonsecaea pedrosoi utilizando ferramentas quimiométricas associadas à espectroscopia no infravermelho*. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Medicina: Ciências Médicas) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
41. SECRETARIA DE AGRICULTURA, IRRIGAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA – SEAGRI – BA. *Cogumelos: mercado crescente*. Salvador. Disponível em: <http://www.seagri.ba.gov.br/noticias.asp?qact=view&notid=7161>. Acesso em 08 set. 2010.

42. SEPLAG – Secretaria de Planejamento e Gestão do RS. *Atlas socioeconômico Rio Grande do Sul*. Disponível em: <<http://www.scp.rs.gov.br/atlas/atlas.asp?menu=31#>>. Acesso em: 20 nov. 2010.

43. SILVA, C.F.; AZEVEDO, R. S.; BRAGA, C.; SILVA, R.; DIAS, E. S.; SCHWAN, R. F. *Microbial diversity in a bagasse-based compost prepared for the production of Agaricus brasiliensis*. Brazilian Journal of Microbiology. Set. 2009, n. 3, v. 40, p. 590-600.

44. SILVA, V. A.; DIAS, E. S.; VALE, R. H. P.; SILVA, R.; MOREIRA, G. F. *Isolamento e identificação de bactérias presentes nos solos de cobertura utilizados no cultivo do cogumelo Agaricus blazei murril*. Ciência e Agrotecnologia. Lavras. v. 31, n. 5, set.-out. 2007, p. 1364-1373.

45. SOUZA, A. M.; POPPI, R. J. *Experimento Didático de Quimiometria para Análise Exploratória de Óleos Vegetais Comestíveis por Espectroscopia no Infravermelho Médio e Análise de Componentes Principais: Um Tutorial, Parte I*. Química Nova. Jul.2011, n. 1, v. 35, p. 223-229.

46. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP). Módulo de Cogumelos. Cogumelos Comestíveis. Disponível em: <<http://www.fca.unesp.br/cogumelos/cogumelos.php>>. Acesso em: 29 out. 2010.



## ANEXO A: Tabela de cálculo de ajuste da relação C/N e massa a ser pesada por teste

Teste 01-H				Fator: 108,4				
Insumo	Massa Seca (g)	Carbono orgânico (g)	Nitrogênio (TKN) - (g)	Massa Seca corrigida (g)	Carbono orgânico (g)	Nitrogênio (TKN) - (g)	Massa úmida teórica (g)	Massa úmida real (kg)
Palha de milho (híbrido)	59,94	25,17	0,44	59,94	25,17	0,44	82,11	8,90
Esterco de cavalo	25,69	4,37	0,26	25,69	4,37	0,26	54,66	5,93
Farelo de soja	6,08	2,74	0,43	5,26	2,37	0,37	5,26	0,57
Uréia	0,69	0,19	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Super fosfato triplo	0,69	0,00	0,00	0,69	0,00	0,00	0,69	0,07
Gesso	5,52	0,00	0,00	5,52	0,00	0,00	5,52	0,60
Calcário	1,38	0,00	0,00	1,38	0,00	0,00	1,38	0,15
<b>Total</b>	<b>99,99</b>	<b>32,46</b>	<b>1,44</b>	<b>98,48</b>	<b>31,91</b>	<b>1,07</b>	<b>149,62</b>	<b>16,22</b>
<b>Relação C / N (Teórico)</b>		<b>22,56</b>			<b>29,79</b>			

Teste 01-T				Fator: 87,9				
Insumo	Massa Seca (g)	Carbono orgânico (g)	Nitrogênio (TKN) - (g)	Massa Seca corrigida (g)	Carbono orgânico (g)	Nitrogênio (TKN) - (g)	Massa úmida teórica (g)	Massa úmida real (kg)
Palha de milho (transgênico)	59,94	25,17	0,47	59,94	25,17	0,47	73,10	6,43
Esterco de cavalo	25,69	4,37	0,26	25,69	4,37	0,26	54,66	4,80
Farelo de soja	6,08	2,74	0,43	4,32	1,94	0,30	4,32	0,38
Uréia	0,69	0,19	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Super fosfato triplo	0,69	0,00	0,00	0,69	0,00	0,00	0,69	0,06
Gesso	5,52	0,00	0,00	5,52	0,00	0,00	5,52	0,49
Calcário	1,38	0,00	0,00	1,38	0,00	0,00	1,38	0,12
<b>Total</b>	<b>99,99</b>	<b>32,46</b>	<b>1,46</b>	<b>97,54</b>	<b>31,49</b>	<b>1,03</b>	<b>139,67</b>	<b>12,28</b>
<b>Relação C / N (Teórico)</b>		<b>22,19</b>			<b>30,59</b>			

<b>Teste 05</b>				<b>Fator: 162,8</b>				
<b>Insumo</b>	<b>Massa Seca (g)</b>	<b>Carbono orgânico (g)</b>	<b>Nitrogênio (TKN) - (g)</b>	<b>Massa Seca corrigida (g)</b>	<b>Carbono orgânico (g)</b>	<b>Nitrogênio (TKN) - (g)</b>	<b>Massa úmida teórica (g)</b>	<b>Massa úmida real (kg)</b>
Palha de arroz	59,94	22,18	0,35	59,94	22,18	0,35	115,27	18,77
Esterco de cavalo	25,69	4,37	0,26	25,69	4,37	0,26	54,66	8,90
Farelo de soja	6,08	2,74	0,43	5,13	2,31	0,36	5,13	0,84
Uréia	0,69	0,19	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Super fosfato triplo	0,69	0,00	0,00	0,69	0,00	0,00	0,69	0,11
Gesso	5,52	0,00	0,00	5,52	0,00	0,00	5,52	0,90
Calcário	1,38	0,00	0,00	1,38	0,00	0,00	1,38	0,22
<b>Total</b>	<b>99,99</b>	<b>29,47</b>	<b>1,34</b>	<b>98,35</b>	<b>28,85</b>	<b>0,97</b>	<b>182,65</b>	<b>29,74</b>
<b>Relação C / N (Teórico)</b>		<b>21,94</b>			<b>29,86</b>			

<b>Teste 06</b>				<b>Fator: 179</b>				
<b>Insumo</b>	<b>Massa Seca (g)</b>	<b>Carbono orgânico (g)</b>	<b>Nitrogênio (TKN) - (g)</b>	<b>Massa Seca corrigida (g)</b>	<b>Carbono orgânico (g)</b>	<b>Nitrogênio (TKN) - (g)</b>	<b>Massa úmida teórica (g)</b>	<b>Massa úmida real (kg)</b>
Capim Cameron	59,94	25,17	0,48	59,94	25,17	0,48	79,92	14,31
Esterco de cavalo	25,69	4,37	0,26	25,69	4,37	0,26	54,66	9,78
Farelo de soja	6,08	2,74	0,43	4,03	1,81	0,28	4,03	0,72
Uréia	0,69	0,19	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Super fosfato triplo	0,69	0,00	0,00	0,69	0,00	0,00	0,69	0,12
Gesso	5,52	0,00	0,00	5,52	0,00	0,00	5,52	0,99
Calcário	1,38	0,00	0,00	1,38	0,00	0,00	1,38	0,25
<b>Total</b>	<b>99,99</b>	<b>32,46</b>	<b>1,48</b>	<b>97,25</b>	<b>31,36</b>	<b>1,02</b>	<b>146,20</b>	<b>26,17</b>
<b>Relação C / N (Teórico)</b>		<b>22,01</b>			<b>30,71</b>			

<b>Teste 03H</b>				<b>Fator: 108,1</b>				
<b>Insumo</b>	<b>Massa Seca (g)</b>	<b>Carbono orgânico (g)</b>	<b>Nitrogênio (TKN) - (g)</b>	<b>Massa Seca corrigida (g)</b>	<b>Carbono orgânico (g)</b>	<b>Nitrogênio (TKN) - (g)</b>	<b>Massa úmida teórica (g)</b>	<b>Massa úmida real (kg)</b>
Palha de milho (híbrido)	29,97	12,59	0,22	29,97	12,59	0,22	41,05	4,44
Palha de arroz	29,97	11,09	0,17	29,97	11,09	0,17	57,63	6,23
Esterco de cavalo	25,69	4,37	0,26	25,69	4,37	0,26	54,66	5,91
Farelo de soja	6,08	2,74	0,43	5,09	2,29	0,36	5,09	0,55
Uréia	0,69	0,19	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Super fosfato triplo	0,69	0,00	0,00	0,69	0,00	0,00	0,69	0,07
Gesso	5,52	0,00	0,00	5,52	0,00	0,00	5,52	0,60
Calcário	1,38	0,00	0,00	1,38	0,00	0,00	1,38	0,15
<b>Total</b>	<b>99,99</b>	<b>30,97</b>	<b>1,39</b>	<b>98,31</b>	<b>30,34</b>	<b>1,01</b>	<b>166,03</b>	<b>17,95</b>
<b>Relação C / N (Teórico)</b>		<b>22,26</b>			<b>29,99</b>			

<b>Teste 03T</b>				<b>Fator: 88,3</b>				
<b>Insumo</b>	<b>Massa Seca (g)</b>	<b>Carbono orgânico (g)</b>	<b>Nitrogênio (TKN) - (g)</b>	<b>Massa Seca corrigida (g)</b>	<b>Carbono orgânico (g)</b>	<b>Nitrogênio (TKN) - (g)</b>	<b>Massa úmida teórica (g)</b>	<b>Massa úmida real (kg)</b>
Palha de milho (transgênico)	29,97	12,59	0,23	29,97	12,59	0,23	36,55	3,23
Palha de arroz	29,97	11,09	0,17	29,97	11,09	0,17	57,63	5,09
Esterco de cavalo	25,69	4,37	0,26	25,69	4,37	0,26	54,66	4,83
Farelo de soja	6,08	2,74	0,43	4,74	2,13	0,33	4,74	0,42
Uréia	0,69	0,19	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Super fosfato triplo	0,69	0,00	0,00	0,69	0,00	0,00	0,69	0,06
Gesso	5,52	0,00	0,00	5,52	0,00	0,00	5,52	0,49
Calcário	1,38	0,00	0,00	1,38	0,00	0,00	1,38	0,12
<b>Total</b>	<b>99,99</b>	<b>30,97</b>	<b>1,40</b>	<b>97,96</b>	<b>30,17</b>	<b>1,00</b>	<b>161,17</b>	<b>14,23</b>
<b>Relação C / N (Teórico)</b>		<b>22,07</b>			<b>30,22</b>			

<b>Teste 08</b>				<b>Fator: 151,5</b>				
<b>Insumo</b>	<b>Massa Seca (g)</b>	<b>Carbono orgânico (g)</b>	<b>Nitrogênio (TKN) - (g)</b>	<b>Massa Seca corrigida</b>	<b>Carbono orgânico (g)</b>	<b>Nitrogênio (TKN) - (g)</b>	<b>Massa úmida teórica (g)</b>	<b>Massa úmida real (kg)</b>
Capim Cameron	29,97	12,59	0,24	29,97	12,59	0,24	39,96	6,05
Palha de arroz	29,97	11,09	0,17	29,97	11,09	0,17	57,63	8,73
Esterco de cavalo	25,69	4,37	0,26	25,69	4,37	0,26	54,66	8,28
Farelo de soja	6,08	2,74	0,43	4,52	2,03	0,32	4,52	0,68
Uréia	0,69	0,19	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Super fosfato triplo	0,69	0,00	0,00	0,69	0,00	0,00	0,69	0,10
Gesso	5,52	0,00	0,00	5,52	0,00	0,00	5,52	0,84
Calcário	1,38	0,00	0,00	1,38	0,00	0,00	1,38	0,21
<b>Total</b>	<b>99,99</b>	<b>30,97</b>	<b>1,41</b>	<b>97,74</b>	<b>30,08</b>	<b>0,99</b>	<b>164,36</b>	<b>24,90</b>
<b>Relação C / N (Teórico)</b>		<b>21,97</b>			<b>30,40</b>			

<b>Teste 11H</b>				<b>Fator: 120,5</b>				
<b>Insumo</b>	<b>Massa Seca (g)</b>	<b>Carbono orgânico (g)</b>	<b>Nitrogênio (TKN) - (g)</b>	<b>Massa Seca corrigida</b>	<b>Carbono orgânico (g)</b>	<b>Nitrogênio (TKN) - (g)</b>	<b>Massa úmida teórica (g)</b>	<b>Massa úmida real (kg)</b>
Capim Cameron	29,97	12,59	0,24	29,97	12,59	0,24	39,96	4,82
Palha de milho (híbrido)	29,97	12,59	0,22	29,97	12,59	0,22	41,05	4,95
Esterco de cavalo	25,69	4,37	0,26	25,69	4,37	0,26	54,66	6,59
Farelo de soja	6,08	2,74	0,43	4,57	2,06	0,32	4,57	0,55
Uréia	0,69	0,19	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Super fosfato triplo	0,69	0,00	0,00	0,69	0,00	0,00	0,69	0,08
Gesso	5,52	0,00	0,00	5,52	0,00	0,00	5,52	0,67
Calcário	1,38	0,00	0,00	1,38	0,00	0,00	1,38	0,17
<b>Total</b>	<b>99,99</b>	<b>32,46</b>	<b>1,46</b>	<b>97,79</b>	<b>31,60</b>	<b>1,04</b>	<b>147,84</b>	<b>17,81</b>
<b>Relação C / N (Teórico)</b>		<b>22,28</b>			<b>30,35</b>			

<b>Teste 11T</b>				<b>Fator: 103,5</b>				
<b>Insumo</b>	<b>Massa Seca (g)</b>	<b>Carbono orgânico (g)</b>	<b>Nitrogênio (TKN) - (g)</b>	<b>Massa Seca corrigida</b>	<b>Carbono orgânico (g)</b>	<b>Nitrogênio (TKN) - (g)</b>	<b>Massa úmida teórica (g)</b>	<b>Massa úmida real (kg)</b>
Capim Cameron	29,97	12,59	0,24	29,97	12,59	0,24	39,96	4,14
Palha de milho (transgênico)	29,97	12,59	0,23	29,97	12,59	0,23	36,55	3,78
Esterco de cavalo	25,69	4,37	0,26	25,69	4,37	0,26	54,66	5,66
Farelo de soja	6,08	2,74	0,43	4,25	1,91	0,30	4,25	0,44
Uréia	0,69	0,19	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Super fosfato triplo	0,69	0,00	0,00	0,69	0,00	0,00	0,69	0,07
Gesso	5,52	0,00	0,00	5,52	0,00	0,00	5,52	0,57
Calcário	1,38	0,00	0,00	1,38	0,00	0,00	1,38	0,14
<b>Total</b>	<b>99,99</b>	<b>32,46</b>	<b>1,47</b>	<b>97,47</b>	<b>31,45</b>	<b>1,03</b>	<b>143,01</b>	<b>14,80</b>
<b>Relação C / N (Teórico)</b>		<b>22,10</b>			<b>30,52</b>			

<b>Teste 16H</b>				<b>Fator: 116,8</b>				
<b>Insumo</b>	<b>Massa Seca (g)</b>	<b>Carbono orgânico (g)</b>	<b>Nitrogênio (TKN) - (g)</b>	<b>Massa Seca corrigida</b>	<b>Carbono orgânico (g)</b>	<b>Nitrogênio (TKN) - (g)</b>	<b>Massa úmida teórica (g)</b>	<b>Massa úmida real (kg)</b>
Capim Cameron	19,98	8,39	0,16	19,98	8,39	0,16	26,64	3,11
Palha de milho (híbrido)	19,98	8,39	0,15	19,98	8,39	0,15	27,37	3,20
Palha de arroz	19,98	7,39	0,12	19,98	7,39	0,12	38,42	4,49
Esterco de cavalo	25,69	4,37	0,26	25,69	4,37	0,26	54,66	6,38
Farelo de soja	6,08	2,74	0,43	4,71	2,12	0,33	4,71	0,55
Uréia	0,69	0,19	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Super fosfato triplo	0,69	0,00	0,00	0,69	0,00	0,00	0,69	0,08
Gesso	5,52	0,00	0,00	5,52	0,00	0,00	5,52	0,64
Calcário	1,38	0,00	0,00	1,38	0,00	0,00	1,38	0,16
<b>Total</b>	<b>99,99</b>	<b>31,47</b>	<b>1,42</b>	<b>97,93</b>	<b>30,66</b>	<b>1,01</b>	<b>159,40</b>	<b>18,62</b>
<b>Relação C / N (Teórico)</b>		<b>22,17</b>			<b>30,27</b>			

<b>Teste 16T</b>				<b>Fator: 94,2</b>				
<b>Insumo</b>	<b>Massa Seca (g)</b>	<b>Carbono orgânico (g)</b>	<b>Nitrogênio (TKN) - (g)</b>	<b>Massa Seca corrigida</b>	<b>Carbono orgânico (g)</b>	<b>Nitrogênio (TKN) - (g)</b>	<b>Massa úmida teórica (g)</b>	<b>Massa úmida real (kg)</b>
Capim Cameron	19,98	8,39	0,16	19,98	8,39	0,16	26,64	2,51
Palha de milho (transgênico)	19,98	8,39	0,16	19,98	8,39	0,16	24,37	2,30
Palha de arroz	19,98	7,39	0,12	19,98	7,39	0,12	38,42	3,62
Esterco de cavalo	25,69	4,37	0,26	25,69	4,37	0,26	54,66	5,15
Farelo de soja	6,08	2,74	0,43	4,44	2,00	0,31	4,44	0,42
Uréia	0,69	0,19	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Super fosfato triplo	0,69	0,00	0,00	0,69	0,00	0,00	0,69	0,06
Gesso	5,52	0,00	0,00	5,52	0,00	0,00	5,52	0,52
Calcário	1,38	0,00	0,00	1,38	0,00	0,00	1,38	0,13
<b>Total</b>	<b>99,99</b>	<b>31,5</b>	<b>1,4</b>		<b>30,5</b>	<b>1,0</b>	<b>156,11</b>	
<b>Relação C / N (Teórico)</b>		<b>22,05</b>			<b>30,49</b>			

<b>Teste Branco</b>				<b>Fator: 166</b>				
<b>Insumo</b>	<b>Massa Seca (g)</b>	<b>Carbono orgânico (g)</b>	<b>Nitrogênio (TKN) - (g)</b>	<b>Massa Seca corrigida</b>	<b>Carbono orgânico (g)</b>	<b>Nitrogênio (TKN) - (g)</b>	<b>Massa úmida teórica (g)</b>	<b>Massa úmida real (kg)</b>
Bagaço de cana	59,94	25,17	0,20	59,94	25,17	0,20	149,85	24,88
Esterco de cavalo	25,69	4,37	0,26	25,69	4,37	0,26	54,66	9,07
Farelo de soja	6,08	2,74	0,43	6,08	2,74	0,43	6,08	1,01
Uréia	0,69	0,19	0,31	0,39	0,10	0,17	0,39	0,06
Super fosfato triplo	0,69	0,00	0,00	0,69	0,00	0,00	0,69	0,11
Gesso	5,52	0,00	0,00	5,52	0,00	0,00	5,52	0,92
Calcário	1,38	0,00	0,00	1,38	0,00	0,00	1,38	0,23
<b>Total</b>	<b>99,99</b>	<b>32,46</b>	<b>1,20</b>	<b>99,69</b>	<b>32,38</b>	<b>1,06</b>	<b>218,57</b>	<b>36,28</b>
<b>Relação C / N (Teórico)</b>		<b>27,07</b>			<b>30,47</b>			