

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**ANÁLISES TÉCNICA E ENERGÉTICA DA SECAGEM COMBINADA
NO PROCESSAMENTO DE CASULO DO BICHO-DA-SEDA DE
*Bombyx mori L.***

ROBERVAL MODESTO DA CUNHA

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu - SP, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU – SP
Dezembro - 2007

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**ANÁLISES TÉCNICA E ENERGÉTICA DA SECAGEM COMBINADA
NO PROCESSAMENTO DE CASULO DO BICHO-DA-SEDA DE
Bombyx mori L.**

ROBERVAL MODESTO DA CUNHA

ORIENTADOR: Prof. Dr. Marco Antonio Martin Biaggioni

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu - SP, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de concentração em Energia na Agricultura.

**BOTUCATU – SP
Dezembro de 2007**

III

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

C965a Cunha, Roberval Modesto da, 1956-
Análises técnica e energética da secagem combinada no processamento de casulo do bicho-da-seda de *Bombyx mori* L. / Roberval Modesto da Cunha. - Botucatu : [s.n.], 2007. viii, 71 f. : il. color., gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado) -Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2008
Orientador: Marco Antonio Martin Biaggioni
Inclui bibliografia.

1. Bicho-da-seda. 2. Casulos - Secagem. I. Biaggioni, Marco Antonio Martin. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

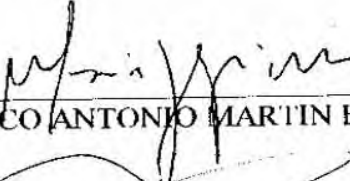
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "ANÁLISES TÉCNICA E ENERGÉTICA DA SECAGEM COMBINADA
NO PROCESSAMENTO DE CASULO DO BICHO-DA-SEDA DE
Bombyx mori L."

ALUNO: ROBERVAL MODESTO DA CUNHA

ORIENTADOR: PROF. DR. MARCO ANTONIO MARTIN BIAGGIONI

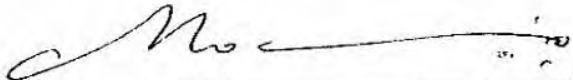
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. MARCO ANTONIO MARTIN BIAGGIONI



PROF. DR. JOÃO ALBERTO BORGES DE ARAÚJO



PROF. DR. ANGELO CATANEO

Data da Realização: 17 de dezembro de 2007.

AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo incentivo e confiança.

Ao Professor Doutor Marco Antonio Martin Biaggioni, pela orientação, pelo estímulo, pela confiança depositada e especialmente pela verdadeira amizade dedicada durante todo o tempo.

Ao Professor Mestre Luiz Gino Farina de Oliveira, pelo apoio técnico, esclarecimentos e contribuição no desenvolvimento da dissertação.

Ao Professor Mário Donizeti do Nascimento, pela amizade, companheirismo e paciência nos momentos de dificuldades.

Ao Professor Doutor Ângelo Cataneo e Professor Doutor João Alberto Borges de Araújo, pelas suas ilustres sugestões e apontamentos que proporcionaram o enriquecimento deste trabalho.

Aos Senhores Antonio Briqueze Filho, José Ricardo Cipriano e Paulo Roberto Parra Martins, funcionários da Fiação Bratac S/A, pela colaboração e disponibilidade na realização do experimento.

Ao Senhor Yoshihiko Komori, Diretor da Fiação Bratac S/A, pelo apoio, pela liberação da infra-estrutura da empresa e colaboração durante a realização de todo o trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	III
LISTA DE FIGURAS.....	IV
LISTA DE TABELAS DO ANEXO.....	V
LISTA DE FIGURAS DO ANEXO.....	VI
1 RESUMO.....	01
2 SUMMARY.....	03
3 INTRODUÇÃO.....	04
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	07
4.1 Histórico.....	07
4.2 Sericultura como Alternativa Agrícola.....	08
4.3 O bicho-da-seda.....	09
4.4 Qualidade do casulo.....	12
4.5 Características do casulo.....	12
4.5.1 Classificação dos casulos.....	14
4.5.2 Composição média dos casulos verdes.....	16
4.6 Secagem do casulo.....	18
4.7 Tipos de secagem.....	20
4.8 Cozimento de casulo.....	22
4.9 Escupinadeira.....	23
4.10 Fiandeira.....	24
4.11 Cardadeira ou Abridor.....	25
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
5.1 Equipamentos de secagem.....	26
5.2 Procedimento operacional.....	31
5.3 Avaliação de desempenho dos sistemas de secagem.....	34
5.3.1 Parâmetros relacionados ao produto.....	34
5.3.2 Qualidade final.....	35
5.3.3 Avaliação energética.....	39
5.4 Análise estatística dos dados.....	41
5.4.1 O modelo de análise de variância univariado (ANAVA), para experimentos em blocos completamente casualizados (EBCC).....	42
5.4.2 O modelo de análise de variância univariado (ANAVA), para o delineamento inteiramente casualizado - DIC.....	44
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	47
6.1 Teor de umidade.....	47
6.2 Peso médio do fio.....	52
6.3 Avaliação energética.....	57
6.4 Consumo de energia elétrica.....	57
7 CONCLUSÕES.....	61
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
APÊNDICES.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 01	Composição Média dos casulos verdes.....	17
Tabela 02	Constituição química do fio de seda bruta.....	19
Tabela 03	Temperatura dos Insufladores.....	27
Tabela 04	Faixa de utilização de temperatura nas esteiras, observada no secador Yamato, registrado no painel de controle da empresa.....	27
Tabela 05	Tabela de dados experimentais segundo a disposição do delineamento em blocos completamente casualizados, caso univariado.....	43
Tabela 06	Tabela de dados experimentais segundo a disposição do delineamento em blocos completamente casualizados, caso univariado.....	44
Tabela 07	Resultados dos tempos médios obtidos durante os 5 ensaios de secagem.....	48
Tabela 08	Valores médios do peso do fio – M _P F, em gramas, medidos em 5 momentos distintos no tempo.....	52
Tabela 09	Resultado do teste “F”, da ANAVA, de um experimento em blocos completamente casualizados, para a variável M _P F, medida em gramas. Entre os valores apresentados, destacam-se também: o coeficiente de variação do experimento bem como os valores tabelados (críticos), para o teste “F”.....	53
Tabela 10	Resumo contendo, média e erro padrão da média, bem como os resultados do teste de Tukey para a classificação de médias, da variável M _P F, medida em gramas, avaliados em 5 momentos distintos no tempo.....	54
Tabela 11	Valores médios do teste de Kaijyo - M _{%K} , em porcentagem, medidos em 5 momentos distintos no tempo(Blocos).....	55
Tabela 12	Resultado do teste “F”, da ANAVA, de um delineamento inteiramente casualizado, para a variável M _{%K} , medida em gramas. Entre os valores apresentados, destacam-se também: o coeficiente de variação do experimento bem como os valores tabelados (críticos), para o teste “F”.....	55
Tabela 13	Resumo contendo, média e erro padrão da média, bem como os resultados do teste de Tukey para a classificação de médias, da variável M _{%K} , avaliados em 5 momentos distintos no tempo.....	56
Tabela 14	Resultados obtidos na avaliação energética dos sistemas de secagem convencional e combinada dos casulos.....	58
Tabela 15	Percentual e consumo de energia dos sistemas de secagem convencional e combinada dos casulos.....	59
Tabela 16	Resultados médios obtidos na secagem combinada em lotes de 90 t, em alta temperatura (AT) e em baixa Temperatura (BT) e na secagem convencional, em alta temperatura (AT).....	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Casulo do bicho da seda, incluindo, a casca, a crisálida e o espólio.....	14
Figura 02	Detalhe da escupinadeira utilizada para encontrar o fio de seda.....	23
Figura 03	Detalhe da fiandeira utilizada no processo de desenrolamento.....	24
Figura 04	Detalhe da cardadeira utilizada para destrinchar os casulos que não conseguiram comportar o processo da escupinadeira e da fiandeira.....	25
Figura 05	Esquema do protótipo, parte interior, utilizado na secagem de baixa temperatura, mostrando a câmara plenum.....	28
Figura 06	Esquema do protótipo, setor inferior, utilizado na secagem de baixa temperatura, mostrando divergente em ângulo de 45°.....	29
Figura 07	Esquema do protótipo utilizado na secagem em baixa temperatura, com detalhe das colunas de PVC (câmara de secagem).....	29
Figura 08	Ventilador centrífugo de pás retas, marca Blasi, modelo VC 30.....	30
Figura 09	Secador convencional, imagem frontal do secador, utilizado pela Bratac, modelo YAMATO.....	30
Figura 10	Diagrama esquemático do tempo de residência do lote de casulos no secador YAMATO, desde o ingresso à temperatura de, aproximadamente, 125 °C, até a saída com, aproximadamente, 40 °C.....	31
Figura 11	Diagrama esquemático do secador YAMATO ilustrando o fluxo do lote de casulos nas dez esteiras.....	33
Figura 12	Fluxograma do Teste de Kaijyo.....	38
Figura 13	Curva de Secagem obtida na fase de baixa temperatura para os casulos procedentes das esteiras 1, 2 e 3 do secador Yamato, no 1° ensaio.....	49
Figura 14	Curva de Secagem obtida na fase de baixa temperatura para os casulos procedentes das esteiras 1, 2 e 3 do secador Yamato, no 2° ensaio.....	49
Figura 15	Curva de Secagem obtida na fase de baixa temperatura para os casulos procedentes das esteiras 1, 2 e 3 do secador Yamato, no 3° ensaio.....	50
Figura 16	Curva de Secagem obtida na fase de baixa temperatura para os casulos procedentes das esteiras 1, 2 e 3 do secador Yamato, no 4° ensaio.....	50
Figura 17	Curva de Secagem obtida na fase de baixa temperatura para os casulos procedentes das esteiras 1, 2 e 3 do secador Yamato, no 5° ensaio.....	51
Figura 18	Curva de secagem média, relativa aos cinco ensaios, obtida na fase de alta temperatura, para os casulos procedentes das esteiras 1, 2, 3 e 10 do secador Yamato.....	51

LISTA DE TABELAS DO APÊNDICE

Tabela 17	Dados do primeiro ensaio: variação percentual do teor de umidade dos casulos procedentes das esteiras 1, 2 e 3 durante o primeiro ensaio e variação relativa percentual da umidade das amostras das esteiras 1 e 3 em relação a amostra da esteira 2 (base).....	66
Tabela 18	Dados do segundo ensaio: variação percentual do teor de umidade dos casulos procedentes das esteiras 1, 2 e 3 durante o segundo ensaio e variação relativa percentual da umidade das amostras das esteiras 1 e 3 em relação a amostra da esteira 2 (base).....	66
Tabela 19	Dados do terceiro ensaio: variação percentual do teor de umidade dos casulos procedentes das esteiras 1, 2 e 3 durante o terceiro ensaio e variação relativa percentual da umidade das amostras das esteiras 1 e 3 em relação à amostra da esteira 2 (base).....	67
Tabela 20	Dados do quarto ensaio: variação percentual do teor de umidade dos casulos procedentes das esteiras 1, 2 e 3 durante o quarto ensaio e variação relativa percentual da umidade das amostras das esteiras 1 e 3 em relação à amostra da esteira 2 (base).....	67
Tabela 21	Dados do quinto ensaio: variação percentual do teor de umidade dos casulos procedentes das esteiras 1, 2 e 3 durante o quinto ensaio e variação relativa percentual da umidade das amostras das esteiras 1 e 3 em relação a amostra da esteira 2 (base).....	68
Tabela 22	Variação percentual acumulada, da umidade dos casulos no secador Yamato, nas esteiras 01, 02, 03 e 10.....	68

LISTA DE FIGURAS DO APÊNDICE

Figura 19	Histograma para os resíduos dos pesos médios do fio.....	69
Figura 20	Gráfico para o teste de normalidade do peso médio do fio.....	69
Figura 21	Gráfico para o teste de normalidade os resíduos do peso médio do fio.....	70
Figura 22	Histograma para os resíduos do teste da porcentagem média de Kaijyo.....	70
Figura 23	Gráfico para o teste de normalidade do teste da porcentagem média de Kaijyo.....	71
Figura 24	Gráfico para o teste de normalidade os resíduos do teste da porcentagem média de Kaijyo.....	71

1 RESUMO

O processo de secagem do casulo de bicho-da-seda (Bombyx mori L.) é de suma importância, visto que, além de impedir a eclosão e perfuração do casulo, pela mariposa, executar a desnaturação sericínica e dar condições adequadas para o armazenamento, tem como prioridade manter a qualidade dos fios e teor de seda, proporcionando resistência no processo de desenrolamento, e atuar também, como um conservador do valor comercial da fibra.

Com o objetivo de racionalizar a energia consumida durante o processo de secagem, sem comprometer a qualidade final do produto, realizou-se uma análise de viabilidade do processo de secagem combinada (alta e baixa temperatura) de casulos de seda, tendo como referência a secagem convencional em alta temperatura.

O experimento foi realizado na Fiação BRATAC S/A, situada na cidade de Duartina-SP, e os tratamentos testados foram: a) secagem convencional, em alta temperatura, em secador multi-correia, modelo Yamato de 10 degraus (esteiras); b) secagem combinada com a fase de alta temperatura durante os primeiros 30 minutos; c) secagem combinada com a fase de alta temperatura durante os primeiros 60 minutos; d) secagem combinada com a fase de alta temperatura durante os primeiros 90 minutos. A fase de baixa temperatura, na secagem combinada, foi conduzida em protótipo até atingir teor de umidade de equilíbrio. As variáveis de qualidade analisadas foram o rendimento do fio a partir do peso

médio do casulo e o índice obtido no teste de “Kaijyo”. Ao final, realizou-se, ainda, uma análise comparativa entre os consumos energéticos de cada sistema de secagem.

Os resultados indicaram melhor qualidade e desempenho para os tratamentos que utilizaram a secagem combinada, com a fase dos 60 minutos iniciais de alta temperatura da secagem convencional.

Palavras-chave: Secagem combinada, casulo do bicho-da-seda, análise energética, teor de umidade.

TECHNICAL AND ENERGY ANALYSIS OF COMBINED DRYING IN THE PROCESSING OF SILKWORM COCOON Bombyx mori L., Botucatu 2007, 71 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual .

Author: ROBERVAL MODESTO DA CUNHA

Adviser: MARCO ANTONIO MARTIN BIAGGIONI

2 SUMMARY

The process of silkworm cocoon *Bombyx mori* L. drying is of substance importance. Not only it impedes the cocoon appearance and perforation by the moth, executes sericin denaturation, and offers appropriate conditions for the storage, but also its priorities are to maintain the threads and silk tenor quality, to provide resistance in the unrolling process, and to act as the fiber commercial value preserver.

With the objective of rationalizing the energy consumed during the drying process, without committing the product final quality, we carried on a combined drying process (high and low temperature) viability analysis of the silk cocoons, using as a reference the conventional drying in high temperature.

The experiment was performed at Fiação BRATAC S/A, located in the city of Duartina, São Paulo, Brazil, and tested treatments were: a) conventional drying in high temperature with multi-belt dryer, model Yamato of 10 steps (matting); b) combined drying with high temperature during the first 30 minutes; c) combined drying with high temperature during the first 60 minutes; d) combined drying with high temperature during the first 90 minutes. The phase of low temperature in the combined drying was driven in prototype until reaching balance moisture content. Quality variables analyzed were the thread output from the cocoon medium weight and the obtained index on "Kaijyo" test. At the end, we also performed a comparative analysis between energy consumptions of each drying system.

The results indicated better quality and performance for treatments that used combined drying with high temperature during the first 60 minutes.

Keywords: Combined drying, silkworm cocoon, energy analysis, moisture content.

3 INTRODUÇÃO

A sericicultura, atividade existente há três milênios, se baseia na produção de casulos de fios de seda, pela larva de Bombyx mori L.¹, alimentando-se de folhas de amoreira. Os fios processados são utilizados na indústria têxtil, produzindo tecido de altíssima qualidade e de aceitação em todos os mercados o qual, visto de perto, se assemelha a um artesanato, de tanta delicadeza, perfeição e técnica utilizada para produção dessa matéria-prima de tecelagem.

A produção mundial de seda, a partir da década de 70, tem se situado em torno de cinquenta mil toneladas, verificando-se que a produção vem crescendo paulatinamente, ano a ano, com um aumento significativo, em 1993, de 92,75%. O maior produtor mundial é a China, com 76% do mercado, seguido da Índia, com 17,7%, Vietnã com 2,7% e Brasil, com 1,9% (MELLO, 2005).

No Estado de São Paulo, os principais produtores localizam-se nas regiões de Bauru, Duartina, Bastos, Gália, Marília, Lins, Charqueada e São José do Rio Preto. No Estado do Paraná, em que já atingiu 40% da produção nacional, encontra-se na região norte, devido à qualidade do solo. A sericicultura se expandiu também pelos Estados de Mato Grosso, Minas Gerais, Goiás, além de outros Estados do Norte (FONSECA e FONSECA, 1988).

¹ Nome científico da espécie do bicho-da-seda da família Bombyx mori Linnaeus 1758.

Apesar de ter sofrido algumas crises, como a de 1946-1950 e a de 1973, a sericicultura brasileira atravessa boa situação em relação a outros produtos agrícolas (FONSECA e FONSECA, 1988). No entanto, a seda nacional, apesar de ser sinônimo de alta qualidade, está ameaçada de extinção. Os fabricantes de fio de seda estão lutando para sobreviver ao dólar baixo, à falta de bichos-da-seda e ao crescimento das vendas de produtos chineses (MELLO, 2005).

No Japão, adota-se o método que prioriza o teor da seda, devido à escassez de matéria-prima e conseqüentemente o elevado preço. Na Fiação de Seda Bratac S/A, porém, utiliza-se o sistema que melhora a qualidade e eficiência, para reduzir o índice de fios arrebitados no processo de desenrolamento. Na BRATAC, o teor de seda é importante, contudo, pela facilidade em adquirir casulos de qualidade. Graças às boas condições geográficas dos terrenos brasileiros, a secagem passa a ser o processo de maior importância, o qual considera prioritariamente a qualidade, seguida pela eficiência e, em terceiro lugar, o teor de seda.

A secagem dos casulos tem por objetivos o sacrifício de crisálidas, a desnaturação sericínica e dar condições adequadas para armazenamento, o qual constitui um dos pontos importantes do processo. A secagem, visando impedir a eclosão e perfuração do casulo pela mariposa, deve ser executada no prazo máximo de dois dias da chegada dos casulos provenientes dos produtores. Retiram-se, aproximadamente, 60% de umidade dos casulos, visando promover a estabilidade da sericina e a prevenção contra variações ou desigualdades de secagem. Essa estabilidade é conhecida pelo processo de desnaturação sericínica, que visa controlar a variabilidade sericínica da casca do casulo, não modificando sua estrutura, pois temperatura muito alta derrete, temperatura muito baixa endurece e embaraça o fio e, conseqüentemente, dificulta a decolagem dos fios.

Uma boa secagem dos casulos garante uma armazenagem livre de mofamentos, atuando também, como um conservador do valor comercial da fibra, mantendo os fios em boa qualidade. Pode, também, dependendo do combustível utilizado nas caldeiras, a secagem ser muito onerosa no processo. Portanto, para a secagem correta dos casulos deve dar-se importância a fatores, como temperatura para secagem, umidade do ar, intensidade do fluxo de ar e tempo de secagem.

Dentre os métodos de secagem dos casulos, destaca-se a secagem ao sol, a secagem em estufas de alta temperatura e a secagem em baixa temperatura em tulhas. No Brasil, é comum iniciar-se o processo com a pré-secagem, em temperatura ambiente, visando à uniformidade do processo, seguida pela secagem em alta temperatura. Porém, é possível que a combinação da secagem em alta temperatura, até que seja atingido o ponto de desnaturação sericínica, com a secagem em baixa temperatura, traga ganhos efetivos tanto no aspecto energético, como na redução do custo de produção, apesar de um aumento no tempo operacional da secagem, o qual não venha comprometer a qualidade final do produto.

Tendo em vista que, em alta temperatura, o consumo de energia é maior, enquanto que, em baixa temperatura, a eficiência energética é melhor, o presente estudo tem por finalidade analisar a viabilidade do processo de secagem, combinada de casulos de seda, tendo como referência a secagem convencional em alta temperatura, objetivando a melhoria dos parâmetros energéticos, econômicos e a manutenção da qualidade final do produto.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Histórico

Segundo Fonseca e Fonseca (1988), há mais de três mil anos teve início, na China, o desenvolvimento da sericicultura, através da criação do bicho-da-seda, com o objetivo de produzir fibra têxtil. Segundo relato de alguns autores, o primeiro país que aprendeu os segredos da China foi a Coreia e daí expandiu-se para o Japão, Índia e Tibete. Neste último, segundo outra versão, o rei do Tibete casou-se com uma princesa da China, que trouxe em seu véu de casamento, ovos do bicho-da-seda e sementes de amoreira.

No século IV da nossa era, a sericicultura estava bem estabelecida na Índia e na Ásia Central, quando os britânicos chegaram e encontraram um comércio de seda florescente. Pouco a pouco, a indústria vinda do Oriente expandiu-se pela Itália e França, meados de 1340.

Por volta do séc. XVIII, a Inglaterra já conduzia a Europa na manufatura de seda devido às suas inovações na indústria têxtil, que incluíam teares de tecer seda, teares mecânicos e impressão rotativa. Em 1870, no entanto, uma epidemia denominada doença de Pebrine, causada por um pequeno parasita, assolou a indústria. Os mais importantes estudos sobre bichos-da-seda foram desenvolvidos durante esse período, demarcando um nível mais elevado para uma abordagem mais científica da produção de seda, motivo pelo qual,

atualmente, a produção de seda se apresenta como o resultado de uma combinação de técnicas antigas e modernas.

Diversas pesquisas têm sido conduzidas mundialmente ao longo de séculos no campo da procriação e criação de bichos-da-seda e permanecem até aos nossos dias. Os pesquisadores pretendem atingir um tipo de variante do bicho-da-seda para casulos de baixo custo, resistentes a doenças e a altas temperaturas, para a obtenção de seda de qualidade.

Especificamente, no Estado de São Paulo, iniciou-se a implantação da sericultura, em 1923, com o surgimento da notável organização, de grande importância, chamada “S/A Indústria de Seda Nacional”. Em 1935 foi criado por Fernando Costa, então Governador do Estado de São Paulo, o primeiro órgão oficial do Estado – a 3ª Seção do Departamento da Indústria Animal, encarregada de cuidar dos assuntos pertinentes à sericultura.

4.2. Sericultura como Alternativa Agrícola

Atividade típica de áreas de agricultura familiar, a sericultura vem ganhando um novo impulso na região Centro Oeste do Estado de São Paulo, revitalizando a base econômica no setor agrícola, com disponibilização, através da pesquisa científica, de cultivares de amoreira altamente produtivos. As técnicas recomendadas para criação das lagartas do bicho-da-seda têm permitido bons resultados, embora os sericultores reivindiquem preços mais atraentes.

Segundo Fonseca e Fonseca (1986), o Estado de São Paulo despontou como o maior produtor brasileiro de casulos, sendo o grande incentivador na década de 70, com produção concentrada predominantemente nos municípios de Bauru, Duartina, Bastos, Gália, Marília, Lins, Charqueada e São José do Rio Preto. Apesar de ter atravessado uma fase de declínio e ser superado pelo Estado do Paraná, atualmente, tem perspectivas animadoras, podendo consolidar-se em uma atividade viável e de expansão do Agronegócio Paulista, consistindo na sustentação dos setores agrícolas e urbanos da região, que representa importante pólo de produção de casulos de bicho-da-seda e fiação do fio de seda.

A Fiação Bratac foi fundada em 1940, em Bastos, estado de São Paulo, participa com 75% da produção de fios de seda e mantém o Brasil em 4º lugar no ranking

mundial do setor. Do início das atividades até fins do ano 50 e início do ano 60, a quase totalidade da criação do bicho-da-seda era desenvolvida por imigrantes japoneses (GARCIA, 2004).

A produção de seda não é algo familiar para a maioria das pessoas. Fazem parte do seguimento na cadeia produtiva da seda: sementagem (produção de ovos do bicho-da-seda), berçário, cultivo das amoreiras e criação do bicho-da-seda, fiação de seda crua, torção de seda crua, tecelagem, confecção e comercialização (YAMAOKA, 1997)..

A Bratac produz e fornece aos sericultores os bosques Kaiten, como também mantém um laboratório de controle de qualidade na linha de produção da sementagem e um campo experimental para estudos de melhoramento genético e para estudos sobre o controle de doenças.

Para produzir fios de seda da mais alta qualidade, o investimento no Brasil começa na produção de ovos do bicho-de-seda, que são originários do cruzamento de matrizes de raças puras, realizadas no seu setor de sementagem, as quais dão origem a ovos híbridos, que recebem no setor de incubação, tratamento especial, para que as larvas nasçam homogêneas e saudáveis.

Em seguida, até a segunda idade, as larvas são mantidas nos campos de criação que a Bratac tem nos Estados de São Paulo e Paraná, sob controle rigoroso, principalmente sanitário. Ao atingirem a terceira idade, as larvas são entregues aos sericultores que darão prosseguimento à criação do bicho-da-seda até a formação dos casulos.

Segundo Watanabe (1977), a evolução da sericultura paranaense, iniciada na década de 60, foi muito importante no âmbito social por tratar de uma atividade que gerou aproximadamente um emprego direto no campo para cada hectare de amoreira plantada, contribuindo, dessa maneira, para a fixação do homem no campo e reduzindo a migração da população rural para os grandes centros.

4.3 O bicho-da-seda

Existem oito espécies de bicho-da-seda criadas com o propósito de produzir fios de seda. Uma delas é da família Bombycidae, ou seja, a Bombyx mori Linnaeus

(1758), e as outras pertencem à família Saturniidae, que são Antheraea pempyi Guerin (bicho-da-seda tasar chinês), Antheraea myllita Drury (bicho-da-seda tasar), Antheraea yamamai Guerin (bicho-da-seda tasar japonês), Antheraea assama Helfer (bicho da seda mouga), Atacus ricini Boisduval (bicho-da-seda eri) Philosamia ricini Drury (bicho-da-seda eri) e Eriogyma pyretorum Wood (bicho-da-seda linha de pesca). A Bombyx mori L. é a mais importante e destaca-se por corresponder a mais de 95% da seda produzida no mundo. (ZANETTI, 2007)

É através do aproveitamento industrial do fio produzido pelo bicho-da-seda que se faz a exploração sericícola (CORRADELLO, 1987). A matéria prima utilizada na agroindústria brasileira produtora de seda é o casulo do bicho-da-seda Bombyx mori L., inseto pertencente à família Bombycidae.

Segundo Fonseca e Fonseca (1988), o inseto, durante sua vida, passa por quatro estágios: ovo, larva, pupa (crisálida) e imago (mariposa). O ciclo vital, de ovo a ovo, pode durar de seis a oito semanas, dependendo da raça e das condições climáticas.

A larva nascida de um ovo, com menos de 0,5 mg de peso, dentro de mais ou menos quatro semanas, cresce mais de 10 mil vezes em relação ao seu peso inicial. Durante esse período, o bicho-da-seda normal exúvia (troca de pele) quatro vezes e tece um casulo.

Uma série de circunstâncias naturais produzirá variações na qualidade dos casulos e as mais notáveis incluem: diferenças de casulos do mesmo grupo; diferenças de casulos de mesma espécie, produzidos na mesma localização, porém por criadores diferenciados; influências sazonais, ou seja, a produção, na primavera, tem mais qualidade do que a produção no verão; condições ambientais, como temperatura e umidade; a técnica de processamento dos casulos bivoltine são superiores, comparados à tradicional espécie de bichos-da-seda multivoltine cultivados em zonas tropicais; técnica no processo de desenrolar e bobinamento do fio de seda; e tratamento da água, como objetivo de eliminar as impurezas, a qual será utilizada para cozimento dos casulos, após secagem.

A qualidade da seda nacional começa pela raça dos bichos-da-seda que ela utiliza. Segundo Mello (2005), depois da segunda guerra mundial, imigrantes japoneses vindos de navio para o Brasil, trouxeram, no bolso, ovos de bicho-da-seda. Aqui chegando, técnicos da Fiação de Seda Bratac S.A. criaram uma raça híbrida, cruzando os insetos japoneses contrabandeados com os insetos chineses trazidos para o Brasil. Com esse

cruzamento, a empresa conseguiu criar um bicho-da-seda que se adapta melhor ao clima brasileiro produzindo um fio de maior qualidade. A Fiação Bratac monitora todo o ciclo de produção, desde o cruzamento das mariposas, especificamente da espécie Bombyx mori, os ovos, o nascimento das larvas e então, quando elas estão entrando na terceira idade (cerca de uma semana), entregam-nas aos produtores, que cuidam das larvas do bicho-da-seda pelos próximos vinte e cinco dias, até que se formem os casulos.

A primeira etapa de produção de seda é a manutenção do ovo num ambiente controlado (condições de temperatura e doenças), para que haja abandono da casca por parte da crisálida e o cuidado para estar livre de doenças. A fêmea deposita de 300 a 400 ovos de cada vez, com a dimensão de uma cabeça de alfinete. Após a deposição dos ovos, a fêmea morre, com o macho sobrevivendo durante um curto período de tempo após esse momento.

Após atingir seu crescimento máximo, a lagarta pára de comer, altera sua cor e liga-se a uma estrutura compartimentada, onde se renova e encolhe para desenvolver seu casulo. Inicia-se a fase do encasulamento ou produção do casulo.

Vários tipos de bosques podem ser utilizados para o encasulamento do bicho-da-seda, processo importante na qualidade e na classificação dos casulos, que se distinguem em: casulos de primeira, casulos de segunda, casulos duplos e refugos. Os casulos de primeira são saudáveis, limpos, uniformes na cor e tamanho, sem manchas e com crisálidas vivas; casulos de segunda são aqueles que possuem pequenas manchas ou defeitos, destacando-se: manchas internas (crisálidas mortas ou feridas, devido a colheita antes do tempo), externas (crisálidas mortas pelo encasulamento desigual), defeitos de bosque (bosque inadequado), casca fina (criações fracas), casulos furados (causados por parasitas ou predadores das crisálidas ou pela emergência do adulto); casulos duplos (geralmente formados por duas lagartas, casulos frágeis e difíceis de se distinguir inclusive na fiação) e refugos (casulos flácidos, pegajosos e amassados, com manchas profundas, deformados e grandes defeitos de bosqueamento). O teste para encontrar a porcentagem dos casulos defeituosos, geralmente acontece em uma mesa, embaixo de uma luz artificial de 500 lux.

No Brasil, os sericultores usam o bosque do tipo “taturana” que é feito de plástico ou de papelão. A taxa de encasulamento é calculada pela relação entre os casulos confeccionados e o número inicial de lagartas, em percentual. No décimo segundo dia,

após o início do encasulamento, os casulos são seccionados e o peso médio de casulo cheio, o peso médio vazio e o peso médio de pupa são determinados em gramas.

4.4 Qualidade do casulo

A qualidade do casulo está relacionada com sua composição e a natureza da fibra.

Segundo Fonseca e Fonseca (1988), o casulo é composto por três partes: casca sérica, pupa (crisálida) e exúvia (espólio). A maioria dos casulos possui formas esféricas, ovais ou cinturadas, que variam de acordo com as raças do bicho-da-seda.

Na parte externa do casulo encontra-se um emaranhado de filamentos irregulares, chamado anafaia. A casca sérica fica no meio dessa anafaia, sendo constituída por um acúmulo de filamentos trançados pela lagarta, tanto em forma de “S” como em forma de “8”, que é fixado pela sericina, isto é, um tipo de proteína que tem aparência de uma goma-arábica.

Uma observação da fibra ao microscópio mostrará que a mesma é composta por dois filamentos paralelos (fibroína), que são soldados por uma camada de sericina. A fibroína é o principal componente da fibra, sendo constituída por cerca de 75% dela e o restante composto pela sericina.

Segundo Bianchi (1945), a fibroína é uma substância protéica que constitui tudo quanto resta da seda bruta depois de completamente purgada, isto é, depois da retirada total da sericina.

Identifica-se, ainda, que a qualidade do casulo é influenciada por fatores desde a criação e suporte do bicho-da-seda, com filamento mais longo, mantendo a temperatura a 25° C, umidade relativa a 65%, até a colheita e manuseio de casulos frescos e ajuste do transporte destes casulos frescos.

4.5 Características do casulo

Segundo Lee (1999), as características físicas de um casulo, são:

- a) peso do casulo – o peso médio de um casulo (macho ou fêmea) varia de acordo com a raça. Geralmente, a fêmea é mais pesada. O peso de um casulo híbrido verde é de 2,0 a 2,5g. Após a secagem o peso decresce em 40% do peso original.
- b) peso da casca sérica – para as indústrias é interessante que seu peso seja o maior possível. O peso médio entre o macho e a fêmea é 35 a 50 cg.
- c) percentagem de seda bruta = “Kiribu” – dependendo da raça, poderá haver grandes diferenças, geralmente, o macho possui de 2 a 3% menos de seda bruta que a fêmea.
- d) comprimentos do fio variam de acordo com a raça e a criação – medem de 700 a 1500 metros;
- e) peso líquido da fibra dependendo do grau do desenvolvimento é de 70 a 80% de peso bruto da fibra. Cada casulo produz de 30 a 40 cg de seda.
- f) grossura da fibra – uma fibra com 450 metros e pesando 0,5g equivale a 1 denier(expressa o número de gramas de 9.000 metros). De acordo com a variedade, a criação e encasulamento, a média de uma fibra varia de 2,5 a 3,5 denier. A fibra é mais grossa na parte externa e mais fina na parte interna. Quanto mais igualada for a grossura, melhor será a qualidade da fibra.
- g) desenrolamento – a obtenção de um alto grau de desenrolamento dependerá muito do rendimento e qualidade do fio. Esses fatores poderão ser influenciados pelo caráter de algumas raças do bicho-da-seda e pelas técnicas de manejo efetuadas durante o período de encasulamento, realizado pelo produtor.
- h) nós – influem muito na qualidade do fio. Podem ser grandes, médios e pequenos. Os surgimentos dos nós podem ocorrer devido a uma característica da raça, durante o encasulamento, no cozimento e na técnica de fiação;
- i) porcentagem líquida de fibra - “Itobu” – equivale à quantidade total de seda aproveitada no desenrolamento da fibra do solo:

“Itobu” – peso de fio produzido X 100

O peso do casulo verde não permanece constante, diminuindo gradualmente, conforme a umidade evaporada do corpo da pupa.

Peso de fio produzido = fio seco + 11% de umidade.

Geralmente, a percentagem líquida de seda varia de 14 a 18%.

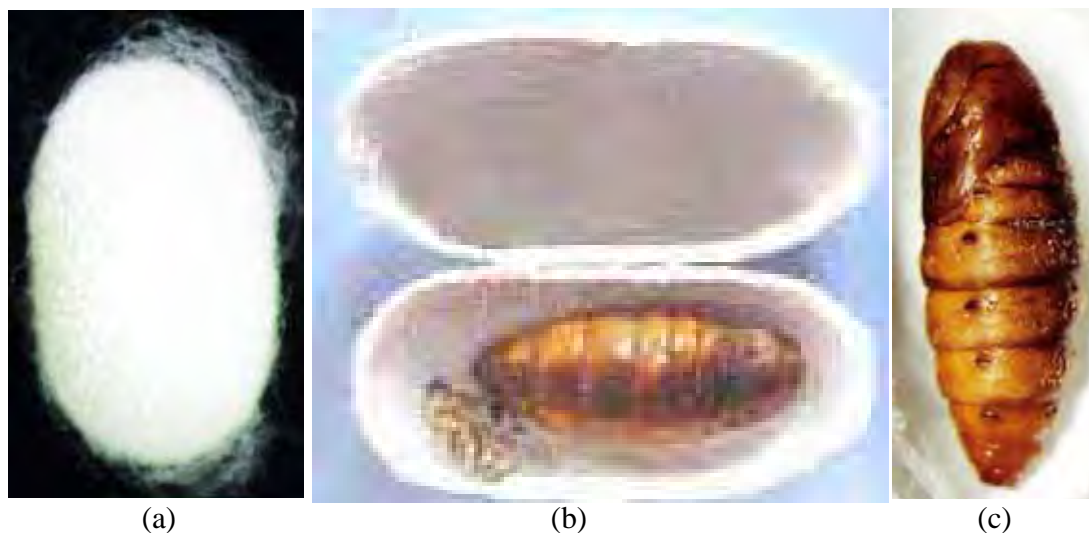


Figura 1. (a) Casulo do bicho da seda, (b) casca, crisálida e espólio (c) crisálida.

4.5.1 Classificação dos casulos

O preço do casulo depende de sua qualidade, que se deve às especificações e critérios de classificação:

Casulos de primeira – são os casulos sadios, limpos, uniformes na cor e tamanho, sem manchas e com crisálidas vivas.

Casulos de segunda – são aqueles que possuem pequenas manchas ou defeitos de bosque, irregularidades na forma e na casca, causadas por doença, manejo inadequado e/ou fatores climáticos;

Casulos duplos – são os casulos formados por duas lagartas e de difícil fiação, ou seja, com má formação;

Refugos – casulos flácidos, pegajosos e amassados, com manchas profundas, deformados, furados e grandes defeitos de bosque.

O método de classificação, de acordo com Fonseca e Fonseca (1986), é o cálculo do percentual de defeitos de determinado lote de casulo que apresenta o seguinte procedimento:

1º Retira-se ao acaso do lote cerca de 1% dos casulos, formando-se uma amostra representativa.

2º Pesam-se 500g de casulos desta amostra.

3º Destes 500g separam-se, se houver, os casulos de 2ª, os duplos, os refugos, e outros defeituosos.

4º Determina-se o percentual de cada um.

Aplicando-se a equação:

$$P(\%) = \frac{Pcd}{Pa} \cdot 100 \quad (1)$$

Em que:

P(%) = Percentual de casulos defeituosos

Pcd = Peso dos casulos defeituosos em gramas

Pa = Peso da amostra (lote de 500 gramas)

Exemplo: Em um lote de 500g podem ocorrer 95% de casulos de 1ª, 4% de casulos de 2ª e 1% de casulos duplos. (ZANETTI, 2007).

Segundo Fonseca e Fonseca (1986), para a avaliação do teor de seda, da amostra de 500g, separam-se 30 casulos de 1ª, para calcular o teor de seda bruta e em seguida:

1º Pesam-se os 30 casulos (casulos inteiros) retirados da amostra;

2º Cortam-se as extremidades dos casulos, retirando-se as crisálidas e os espólios;

3º Pesam-se as cascas dos casulos, isto é, os casulos sem as crisálidas e os espólios (casulos vazios);

4º Calcula-se o teor de seda.

Para o cálculo do teor de seda utilizam-se a equação 2 para o cálculo do teor de seda bruta e a equação 3 para o cálculo do teor de seda líquida:

$$TBS(\%) = \frac{P_{cv}}{P_{cc}} \cdot 100 \quad (2)$$

$$TLS = TBS \cdot 0,76 \quad (3)$$

O fator de correção de 0,76 é utilizado para compensar as perdas durante o processo de fiação (MIRANDA et al., 2002)

Em que:

TBS(%) = Teor bruto de seda em porcentagem

P_{cv} = Peso dos casulos vazios

P_{cc} = Peso dos casulos cheios

TLS = Teor líquido de seda

4.5.2 Composição média dos casulos verdes

Segundo Bianchi (1945), a composição média de casulos verdes ou frescos é dada pela tabela 1, onde existe uma grande quantidade de água, sendo que a maior parte dessa água se encontra na crisálida.

Tabela 01. Composição Média dos casulos verdes.

COMPONENTE	% EM MASSA
Água	68,20%
Seda Grége	14,30%
Materiais gomosos solúveis em água	0,70%
Crisálida	16,80%

Fonte: Bianchi(1945)

Conforme Lima e Mata (1995), a larva dentro do casulo, através da metamorfose, transforma-se em pupa (ninfa ou crisálida) e esta em mariposa que, com auxílio de um suco alcalino secretado do estômago, umedece a casca do casulo, amolecendo-a e facilitando assim o rompimento para sua saída do mesmo. Nesse momento, deverão ser sacrificadas através da secagem, antes que se tornem mariposas, para evitar a danificação do casulo, uma vez que os fios de seda obtidos dos casulos servirão de matéria-prima para tecidos de alta qualidade.

O casulo produzido pelo bicho-da-seda Bombyx mori L. é um material de forma variável, porém definida. É comercializado com objetivo de se gerar fio de seda e conseqüentemente produtos de alto valor agregado, a partir de sua industrialização. O casulo comercial é resultante de um conjunto de operações tecnológicas na cultura da amoreira e na criação do bicho-da-seda. Essas operações têm por finalidade modificar as características físicas e químicas, qualitativa e/ou quantitativamente dos casulos verdes, características estas que são indispensáveis para seu melhor aproveitamento e comercialização futura (Lima, 1995).

O processamento do casulo inicia-se com os mesmos, passando pela secagem, para retirar a umidade e garantir condições adequadas para o armazenamento, por um ano, geralmente. Posteriormente, ocorre um processo de seleção, para separar os casulos defeituosos. Após essa etapa, os casulos são mergulhados em água quente, com temperatura entre 60°C a 120°C, para dissolver a sericína, goma que gruda o fio do casulo. O fio, então, se solta e coloca-se a ponta em uma máquina que o enrola fazendo a meada. Juntando-se os fios de várias meadas, faz-se um fio mais grosso que é utilizado para fabricação dos tecidos.

4.6 Secagem do casulo

O casulo verde produzido pelo Bombyx mori L. é composto de uma casca exterior, onde existe a seda bruta propriamente dita e, no interior, a crisálida, que, ao final de algum tempo, se transforma na mariposa, emitindo uma saliva que rompe o casulo, escapando pela abertura produzida.

Os casulos são entregues pelos criadores na fiação, após o bicho ter completado a sua perfeita transformação em crisálida. Na recepção, passam por uma seleção, onde são separados os normais e retirados os duplos e defeituosos, e, em seguida, são encaminhados para secagem.

Segundo Lima (1995), os três principais objetivos da secagem de casulos são: sacrifício da crisálida, desnaturação sericínica e o armazenamento.

O sacrifício da crisálida consiste em matar a crisálida (ou pupa) do interior do casulo antes que ela se torne mariposa, para evitar que o casulo se danifique. Quando não sacrificada, fura o casulo ou ainda provoca mancha com sua forte segregação, inutilizando-o para a industrialização da seda (FONSECA e FONSECA. 1986).

A secagem do casulo, segundo Fonseca e Fonseca (1988), consiste em fazer uma corrente de ar quente atravessar uma massa de casulos, com temperatura entre 110°C a 120° C, terminando a 40 a 50°C. A queda progressiva da temperatura acontece à medida que se vai completando a secagem, ou seja, as seções de secagem variam em escalas de temperaturas e diminuem gradativamente à medida que se atravessam as seções.

De acordo com a Fiação de Seda Bratac S/A, citada por Lima (1995), faz-se necessário um controle muito rigoroso de temperatura para os diversos tipos de casulos, visando à escolha da faixa ideal para cada tipo. O processo de secagem normal tem duração de aproximadamente sete horas. Segundo ela, utilizando-se a temperatura inicial de 120° C a 125°C, ocorrerá a morte da crisálida e a dificuldade em fiar esses casulos, com um número acentuado de emendas. Para o caso de secar os mesmos, em temperaturas baixas, poderá haver dificuldades no cozimento e na manufaturação do fio, provocadas pelas emendas e paradas sucessivas das máquinas. Em ambos os casos se acentuam uma enorme redução da produção.

O filamento produzido pelo bicho-da-seda é constituído de duas fibroínas envolvidas por sericina.

Segundo Fonseca e Fonseca (1988), a baba sérica geralmente é composta por 75% de fibroína e o restante quase que exclusivamente de sericina, uma vez que as demais substâncias entram em quantidades muito pequenas. Sob observação microscópica, o filamento da casca do casulo é composto de dois filamentos mais finos, arranjados em paralelo. A fibroína é o principal componente do filamento do casulo, sendo a parte interna desse filamento; e a sericina é substância aglutinante que envolve a fibroína. A secção transversal do filamento é um triângulo arredondado. O filamento do casulo é contínuo, variando em seu comprimento entre 800 a 1.500m, mais ou menos, com a grossura de 2,0 a 3,0 denier (denier = 0,05g), significando que o peso do fio varia de 0,10 a 0,15 g.

A constituição química do fio de seda bruta, que mede principalmente a porcentagem de sericina responsável pela dureza do fio, é a seguinte (Hanada e Watanabe, 1986):

Tabela 02. Constituição química do fio de seda bruta.

Componente	Porcentagem
Fibroína	70 ~ 80%
Sericina	20 ~ 30%
Cera	0,40 ~ 0,8%
Carboidratos	1,2 ~ 1,6%
Pigmentos	+ ou - 0,2%
Inorgânicos	+ ou - 0,7%

Fonte: Hanada e Watanabe (1986)

Durante a secagem, a fibroína não se altera muito com o calor intenso, porém a natureza da sericina altera e não volta ao original, dando resistência ao fio na hora do cozimento, reduzindo os índices de arrebentamento durante a fiação automática. Tal propriedade é denominada desnaturação sericínica ou desnaturação da proteína sericínica.

O armazenamento consiste, após secagem, em conservar o casulo de modo homogêneo e adequado às especificações, dando condições de estabilização por longo tempo, evitando mofamento e alteração de sua qualidade. Os casulos podem ser armazenados para serem fiados e posteriormente desenrolados a fim de comporem o fio da seda.

4.7 Tipos de secagem

Segundo Lima (1995), o processo de secagem de casulo pode ser conduzido por três tipos de secagem: natural, mista e mecânica. A secagem natural é a que ocorre com o calor do sol. Quando a secagem é processada nos terreiros ou em outra forma de secagem natural e em secadores convencionais, temos a secagem mista. A secagem mecânica é a secagem que ocorre por secadores onde o produto se submete à ação de uma corrente de ar quente que atravessa a massa do produto agrícola.

Segundo Puzzi (1986), a secagem mecânica consiste em submeter o produto à ação de uma corrente de ar quente que atravessa a massa do produto agrícola. Esta secagem, quando se usa ar aquecido termicamente, é uma operação onerosa. Por outro lado, apresenta uma série de vantagens em relação à secagem natural: a secagem pode ser processada independentemente das condições do tempo; há a possibilidade de se estabelecer um programa de operação com mais facilidade; como o processo é mais rápido do que o feito ao sol, há um menor espaço de tempo para a secagem, o qual impede o desenvolvimento de fungos.

Conforme Lima (1995), em geral, a secagem é sempre realizada por intermédio de ar quente, como fluido de trabalho, que atravessa o material a secar. Essa corrente de ar fornece energia, sob forma de calor, ao material, transformando a umidade em vapor, que é arrastado pela própria corrente de ar. A temperatura do ar quente é limitada pela natureza do material a se tornar seco. Sendo assim, o fenômeno de secagem é essencialmente dinâmico e corresponde a uma dupla transferência de energia e de massa, regida por leis físico-químicas.

Entende-se, pela literatura, que o processo de secagem tem por objetivo o sacrifício da crisálida, consistindo em matar a crisálida (ou pupa) do interior do casulo antes que ela se torne mariposa, para evitar que o casulo se danifique. A crisálida fura o casulo, ou ainda, provoca manchas com sua forte segregação. A desnaturação sericínica, consiste em modificar a proteína sericínica e dar resistência ao fio na hora do cozimento, injetando ar quente no filamento do casulo, para reduzir índices de arrebatamento durante a fiação automática. Na desnaturação, o filamento produzido pelo bicho-da-seda é formado de

fibroína, que é o principal componente e sofre pouca alteração com o calor intenso. A sericina altera-se e não volta ao original.

Segundo Lima (1995), o grau de secagem se obtém pela equação:

$$SEC(\%) = \frac{P_{cs}}{P_{cv}} \times 100 \quad (4)$$

Em que:

SEC(%) = Porcentagem de secagem

Pcs = Peso de casulo seco

Pcv = Peso de casulo verde

Segundo Lima (1995), pela ordem de intensidade, os principais fatores que influem na secagem, são:

1 – Temperatura

2 – Vazão do ar de secagem

3 – Tempo de secagem

Quanto maior a variabilidade sericínica da casca do casulo ao calor, menor será a sua permeabilidade (teor de água). O processo de secagem deve ser bem executado, evitando liberar acidez, para não endurecer a sericina e, conseqüentemente, vir a prejudicar no desfiamento.

De acordo com Shiruo (1986), uma das formas amplamente usadas pela China de se reduzir as influências das temperaturas e umidade do ar quente sobre os casulos, é utilizar um processo duplo de secagem o qual consiste em submeter os casulos verdes a duas câmaras de ar quente a temperaturas diferentes, em ordem decrescente. Esse procedimento permite a obtenção de casulos de qualidade aceitável para comercialização.

Segundo Guimarães (1995), citado por Ribeiro (2005) a secagem combinada é um processo que vem evoluindo constantemente e consiste em realizar a secagem em altas temperaturas até que o teor de umidade seja reduzido na faixa de 16 a 18%

b.u., e, a partir desse ponto, a secagem passa ser executada em um sistema de baixas temperaturas.

Ribeiro (2005) em sua dissertação, realizou avaliação energética da secagem combinada de milho, na região de Pedrinhas Paulista-SP, e concluiu que a secagem combinada, que utilizou o secador a alta temperatura somente na faixa de umidade elevada dos grãos, apresentou melhor eficiência energética, em relação à secagem convencional.

4.8 Cozimento de casulo

Após a secagem, cozinha-se o casulo para facilitar o aproveitamento do fio de seda no desenrolamento, pois o objetivo desta etapa é a retirada de um produto chamado sericina, responsável pela rigidez do casulo, para facilitar o trabalho de encontrar a ponta do fio de seda, permitindo que o filamento seja facilmente desenrolado, evitando rupturas e embaraçamento dos fios durante a bobinagem.

Utilizando-se água com pH relativamente baixo, ou seja, em torno de 5,5 a 6,4, o cozimento dura menos tempo, com melhora da qualidade do fio. Por outro lado, enquanto o pH for elevado, deve-se cozinhar o fio mais tempo, o que pode prejudicar no desenrolamento, com maior número de embaraçamento e arrebentamento.

Segundo a Fiação de Seda Bratac S/A (1984), dependendo do tipo de casulo e da secagem, a penetração da água pode ser classificada por:

SHINSHEKI - para casulos em que não há resistência da entrada de água;

SHOKUJO - cozimento com temperatura entre 90° a 92° C, pois, temperatura mais baixa causa muitos arrebentamentos, ou seja, a intensidade do cozimento é bem menor na temperatura baixa;

ZENTEI - praticamente o mesmo cozimento que o SHOKUJO, com a diferença de 7 a 8° C menor; portanto, se a temperatura se mantiver alta, será mais homogênea e branca;

JIKUSHEI - elimina a água absorvida pelo casulo, conforme a pressão e temperatura, de maneira que o cozimento é usado em torno de 94° a 98° C e pressão 40 m/m;

TIOSHEI - quando há um cozimento muito intenso na parte exterior do casulo, normalmente entre 92° A 98° C; se for inferior, o casulo sairá amassado.

4.9 Escupinadeira

Após o cozimento e o descanso em tambores, os casulos passam pela escupinadeira, máquina responsável por encontrar a ponta do fio. Contudo há casulos cujas pontas necessitam ser encontradas manualmente. Esses são colocados em uma espécie de tacho, misturados com água em ebulição e, posteriormente, são manipulados pelas funcionárias, até que a ponta do casulo seja encontrada.

Nesta etapa, são definidos os casulos que seguem o processo produtivo principal e aqueles que originarão os co-produtos. Os casulos cujas pontas do fio de seda não são encontrados, serão triturados em uma máquina chamada cardadeira, descrita posteriormente.



Figura 2. Detalhe da escupinadeira utilizada para encontrar o fio de seda

4.10 Fiandeira

Depois de encontrada a ponta do fio, os casulos passam pela fiandeira, máquina responsável por tirar todo o fio do casulo em um processo de desenrolamento do produto da atividade da lagarta. A ponta do fio é colocada em local específico da máquina pelo funcionário e, assim, com o equipamento em funcionamento, o fio é tirado do casulo e enrolado na aspa para formar a meada (porção de fios enrolados). Contudo alguns casulos têm os seus fios rompidos, por exemplo, nos casos dos casulos furados, deformados etc.



Figura 3. Detalhe da fiandeira utilizada no processo de desenrolamento

4.11 Cardadeira ou Abridor

Esta etapa do processo produtivo tem por finalidade destrinchar os casulos que não conseguiram completar o processo da escupinadeira e da fiandeira.

Assim, esses casulos passam por esta máquina e, posteriormente, uma vez todos picados, são desengomados, lavados, tingidos ou não, centrifugados e secados. Por fim, são enviados para a fiação terceirizada e, quando voltam, compõem o grupo dos produtos secundários da empresa, os chamados co-produtos.

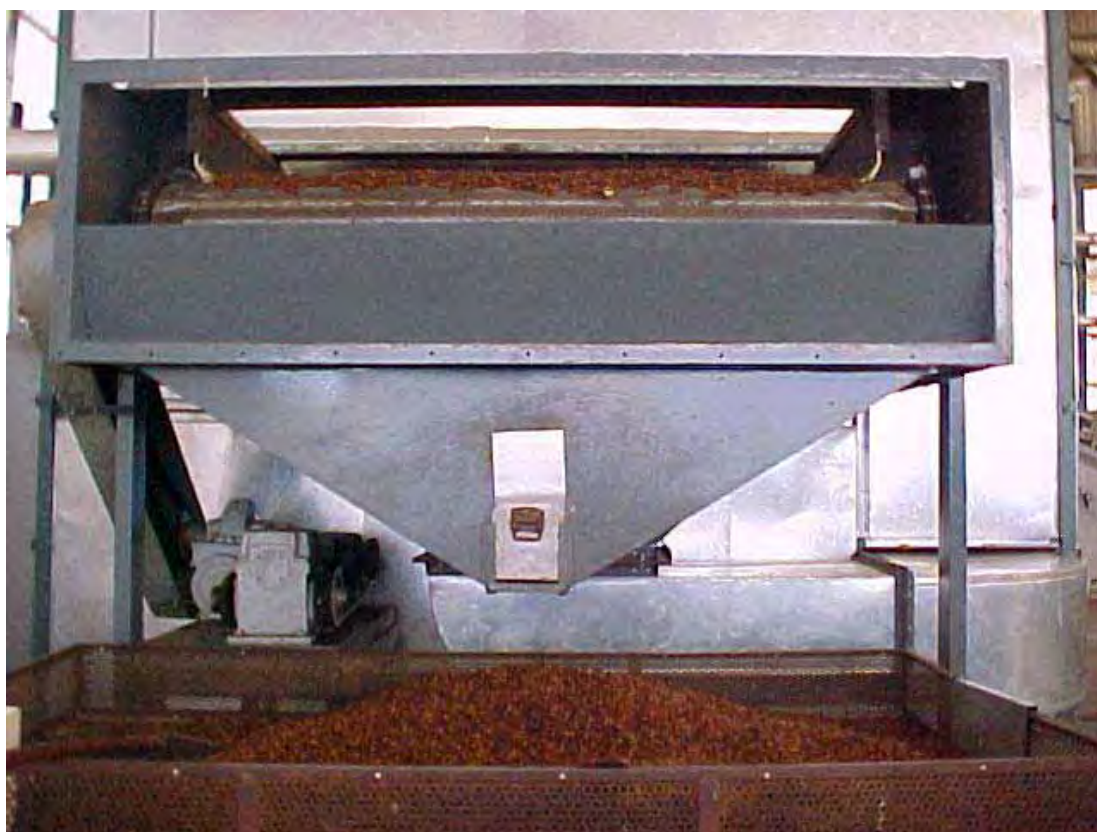


Figura 4. Detalhe da cardadeira utilizada para destrinchar os casulos que não conseguiram comportar o processo da escupinadeira e da fiandeira

5 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na Fiação de Seda Bratac S/A, localizada na cidade de Duartina, Estado de São Paulo, especializada na produção de fios de seda de *Bombyx mori* L. A empresa realiza a secagem de casulo em secador multi-correia a sopro quente, modelo Yamato com 10 degraus (esteiras).

5.1 Equipamentos de secagem

Para análise da secagem em altas temperaturas, foi considerado um secador multi-correia a sopro quente, modelo Yamato de 10 degraus (esteiras), com comprimento de 17 metros, largura de 3 metros, espessura da camada dos casulos nas “esteiras”, 0,04 metros, e velocidade de 25,5 RPM. Na medida em que a camada de casulos se move para o degrau inferior, há uma redução na temperatura do insuflador.

Devido à grande influência da temperatura na secagem, esta é controlada em cada esteira e, principalmente, nos insufladores. A regulagem atual do secador mantém as seguintes temperaturas:

Tabela 03. Temperatura dos Insufladores

INSUFLADOR	TEMPERATURA APROXIMADA
1	125° C
2	96° C
3	92° C
4	60° C

Fonte: Painel de controle da fiação Bratac

Tabela 04. Faixa de utilização de temperatura nas esteiras, observada no secador Yamato, registrado no painel de controle da empresa.

Ordem das esteiras	Faixa de temperaturas
1ª esteira	120 a 130° C
2ª esteira	110 a 120° C
3ª esteira	90 a 110° C
4ª esteira	90 a 100° C
5ª esteira	80 a 90° C
6ª esteira	80 a 90° C
7ª esteira	70 a 80° C
8ª esteira	70 a 80° C
9ª esteira	50 a 70° C
10ª esteira	40 a 60° C

O tempo transcorrido entre o início e o final do processo de secagem foi de aproximadamente sete horas, sendo que, ao completar o processo, os casulos sofreram uma redução de, aproximadamente, 41% no peso inicial. O processo deve garantir um bom resfriamento do casulo, de modo que a temperatura do ar retida em seu interior seja inferior a 40° C, ou seja, o teor da água da casca de casulo sofre redução de apenas 1 a 2%, mas a pupa (inclusive exúvia) tem redução de 70 a 80%.

A secagem em baixa temperatura foi desenvolvida em um protótipo, esquematizado na Figura 1 a 4, constituído por: (1) três colunas de tubos de PVC, medindo 1,80 m de altura, com seção circular de 0,30 m de diâmetro, com capacidade de 14 kg de

casulos úmidos, em cada tubo; (2) orifícios para medição da temperatura e coleta das amostras, sendo três em cada tubo, com 5 cm de diâmetro, com espaçamento vertical de 30 cm na coluna; (3) piso perfurado, em chapa com furos circulares; (4) câmara *plenum*, em madeira, de seção retangular (1,55 x 0,55 m), com 0,35 m de altura; (5) divergente em chapa galvanizada, formando um ângulo de 45°, medindo 1,50 m de comprimento por 0,50 m, com distância do motor até a câmara *plenum* de 30 cm, responsável pela condução do ar insuflado pelo ventilador até o *plenum*; (6) ventilador centrífugo de pás retas, marca Blasi, modelo VC 30, acionado por motor elétrico com potência de 1/3 cv; (7) diafragma fixo à entrada de ar, permitindo a variação da vazão.



Figura 5. Esquema do protótipo, parte interior, utilizado na secagem de baixa temperatura, mostrando a câmara plenum.



Figura 06. Esquema do protótipo, setor inferior, utilizado na secagem de Baixa temperatura, mostrando divergente em ângulo de 45°



Figura 07. Esquema do protótipo utilizado na secagem em baixa temperatura, com detalhe das colunas de PVC (câmara de secagem).



Figura 08. Ventilador centrífugo de pás retas, marca Blasi, modelo VC 30



Figura 09. Secador convencional, imagem frontal do secador, utilizado pela Bratac, modelo YAMATO.

5.2 Procedimento operacional

A análise do sistema de secagem convencional transcorreu conforme executado na Fiação de Seda BRATAC S/A, na cidade de Duartina/SP.

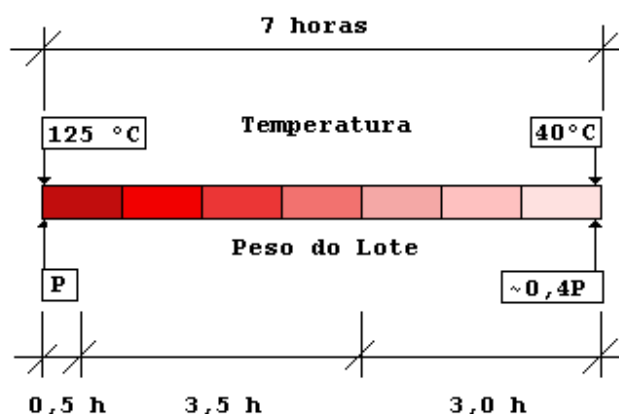


Figura 10. Diagrama esquemático do tempo de residência do lote de casulos no secador YAMATO, desde o ingresso à temperatura de, aproximadamente, 125 °C, até a saída com, aproximadamente, 40 °C.

A Bratac recebe os casulos, em caixas, encaminhados pelos produtores, antes da emergência das mariposas, que ocorre de 15 a 20 dias da colheita. Posteriormente separa-se um lote, conforme o produtor, para ser pesado e classificado. A análise da amostra do lote foi realizada com 500g de casulos, iniciando-se com a pesagem e contagem dos casulos contidos nessa amostra, para avaliar a porcentagem de classificados ou desclassificados e, conseqüentemente, verificar a faixa de preço estabelecido na tabela de teor de seda.

Em seguida, foram retirados 40 casulos bons da amostra, destinados para análise do teor de seda, o qual foi encontrado pela divisão entre o peso líquido da seda e peso bruto (seda + crisálida), cujo resultado, multiplicado por 0,76 e somado a 19,5, forneceu um valor de referência para uma secagem ideal.

Na seqüência, foram colocados em caixas, separadamente, para, em seguida, serem encaminhados ao processo de secagem.

Durante a secagem, podem-se distinguir as seguintes etapas:

1ª) A pré-secagem dos casulos úmidos, expondo-os à temperatura ambiente, visando à uniformidade do lote, o favorecimento à prevenção contra secagem desigual e reduzindo a incidência de casulos amarelados;

2ª) Ingresso do lote de casulos no secador de sopro quente a uma temperatura média de 125 °C. O lote de casulos de 1.400kg tem um tempo de residência total de, aproximadamente, 7 horas no secador de sopro quente, sendo que, nessa primeira esteira, o tempo de residência é de aproximadamente 30 minutos, onde, durante os primeiros 10 minutos ocorre a morte da pupa. Apesar da perda de água, o lote de casulos não apresenta redução imediata de peso, por isso este estágio é denominado “estágio estável”;

3ª) Esta etapa tem duração total aproximada de três horas e meia, em que o lote de casulos irá apresentar redução drástica de peso;

4ª) No restante da secagem, de 4 a 7 horas, a temperatura varia de 60°C a 40°C;

5ª) Resfriamento de casulo na saída, com compartimento de resfriamento controlado de 6 a 7 horas, para manter a temperatura do ar interno do casulo pós-secagem para menos de 40°C. A Figura 11 mostra uma ilustração esquemática do secador Yamato.

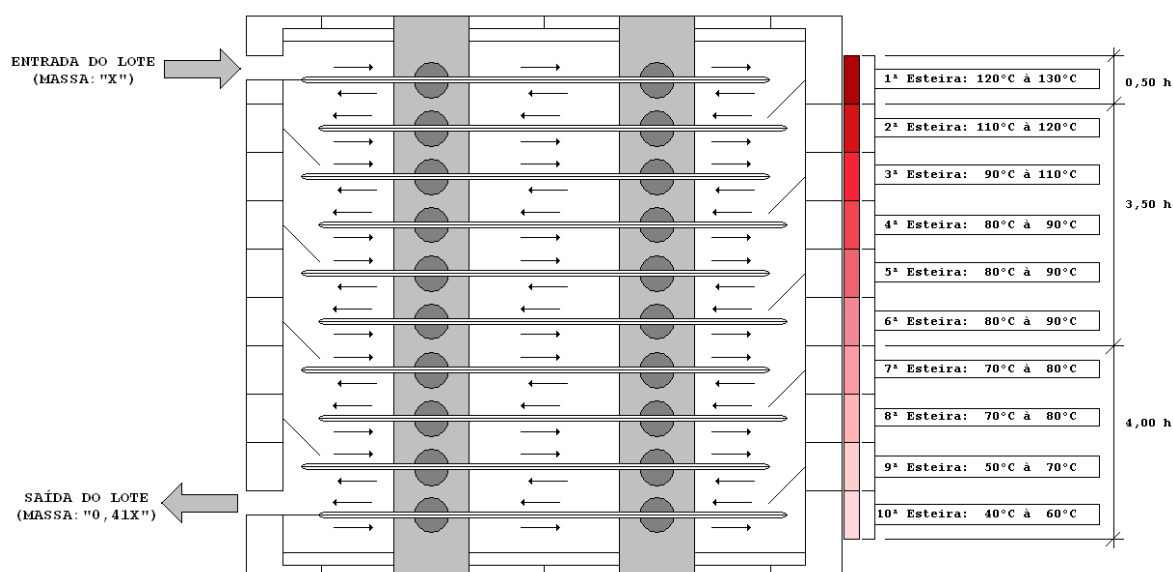


Figura 11. Diagrama esquemático do secador YAMATO ilustrando o fluxo do lote de casulos nas dez esteiras.

Para a análise da secagem combinada de casulo, foi utilizado o protótipo conjuntamente com a secagem convencional, retirando-se um sublote no final da 1ª esteira do secador Yamato, Tratamento 1; posteriormente, mais um sublote no final da 2ª esteira, Tratamento 2; e, finalmente, um terceiro sublote no final da 3ª esteira, Tratamento 3. Cada sublote de 6,17kg foi colocado no interior de cada tubo do protótipo, onde se concluiu a secagem. A secagem integral dos casulos no sistema convencional constitui o Tratamento 4.

A retirada do produto em diferentes esteiras visava à obtenção dos tratamentos para testar a melhor porcentagem de água que o casulo deve possuir ao sair do secador.

Utilizou-se um processo de secagem combinada de alta para baixa temperatura, com cinco repetições, onde se observaram os seguintes fatores: peso médio dos casulos em todo processo, umidade relativa do ar, temperatura ambiente e o tempo de secagem, para se obterem, no final da secagem, os 41% aproximados do peso inicial, na data de recebimento, atingindo, assim, a eficiência do desenrolamento e a qualidade almejada.

5.3 Avaliação de desempenho dos sistemas de secagem

Para avaliação de desempenho fez-se o monitoramento dos seguintes parâmetros:

5.3.1 Teor de umidade

A amostragem foi realizada por meio de coleta de produto úmido (casulo verde), antes de sua entrada no secador e de produto seco ou parcialmente seco, na descarga..

O teste foi desenvolvido para as duas fases de secagem, a convencional e a combinada, visando atingir, aproximadamente, perda de 59% de umidade.

Nessas fases de secagem observou-se o comportamento da desnaturação sericínica e da perda de umidade dos casulos.

Na secagem convencional, o teor de umidade foi determinado, através da coleta de amostras de 40 casulos (úmido) no início da 1ª esteira do secador, que foi levado a uma balança de precisão para medir e registrar seu peso e o resultado. Após concluída a secagem, coleta-se, do mesmo lote, especificamente do final da 10ª esteira, uma amostra de 40 casulos, para também ser pesado e registrado o resultado.

Na secagem combinada, o teor de umidade foi determinado, através de monitoramento diário, durante o processo de secagem, obedecendo às seguintes etapas:

Seleção aleatória de três sublotes de casulos retirados das esteiras, conteúdo em média de 6,17kg:

- Sublote 01: 1ª esteira;
- Sublote 02; 2ª esteira e
- Sublote 03; 3ª esteira.

Medições diárias: Nesta fase monitorou-se diariamente a perda de umidade dos casulos. Para tanto, tomaram-se as seguintes medidas:

Seleção aleatória de amostras dos conteúdos dos tubos. Foram retiradas três amostras, com 40 casulos, sendo uma para cada orifício do tubo, totalizando 9 amostras, (3 amostras/tubo x 3 tubos = 9 amostras). As amostras são pesadas em uma balança

de precisão e esses pesos são devidamente registrados para posterior análise. Em seguida, cada amostra foi devolvida ao tubo de origem.

5.3.2 Qualidade do casulo seco

O processo de desenrolamento e cozimento na fiação, visando à qualidade do fio da seda, depende da secagem e, posteriormente, do armazenamento, quando ocorrer. Para tanto, foram observados, durante a secagem, os seguintes fatores que influem nesse processo: temperatura, fluxo de ar, tempo de secagem e umidade. E, após a secagem seja ela combinada ou convencional, além dos fatores anteriormente citados, deve-se analisar, também, as seguintes características:

a) Teste percentual de KAIJYO

O teste tem por finalidade principal medir a resistência e o desenrolamento do fio, que se define pelo fluxograma, conforme Figura 12. O resultado, em percentual, é obtido a partir de, em uma escupinadeira, uma amostra de 40 casulos, conforme a da Equação 5, e ainda utilizam-se índices estimativos e aproximativos, para posteriormente, comparar os resultados dos testes.

$$\%Kaijyo = ((40 / (40 + QT B + QT C + QT(D + E)) \cdot 1,5) \cdot 100) \cdot 1,109 - 6,07) \cdot 0,8237 \quad (5)$$

Em que:

QT B = nº de casulos obtidos da segunda etapa de escupinagem, mostrado no fluxograma;

QT C = nº de casulos obtidos da primeira etapa da 1ª fiação, mostrado no fluxograma;

QT D = nº de casulos obtidos da terceira de escupinagem, mostrado no fluxograma;

QT E = nº de casulos obtidos da quarta etapa de escupinagem, mostrado no fluxograma.

Utilizam-se as máquinas fiandeiras automáticas para verificar o desenrolamento e resistência do fio extraído do casulo para formação do fio de seda, pois a grossura do fio de seda resulta do processo de vários casulos, conforme pedido do cliente:

grossura denier 21 = seis casulos; denier 27 = oito casulos; denier 31 = nove casulos e denier 42 = doze casulos.

As máquinas fiandeiras operam em ambiente úmido, pois o fio sofre influência da umidade e da temperatura, as quais são controladas a cada 30 minutos, variando em torno de 63%, com diferentes quantidades de casulos, dependendo do tipo do fio que se pretende produzir, sendo que a média dos casulos utilizados no processo é dada conforme o denier.

O teste consiste em três etapas, ou até quatro, de escupinagem, conforme a necessidade e através do seguinte procedimento operacional:

Primeira Etapa de Escupinagem: Introduzem-se os 40 casulos na bacia da escupinadeira, com o objetivo de verificar o desenrolamento dos casulos, buscando os casulos com ponta e sem ponta. Os casulos com ponta, após girar três segundos, são encaminhados para o primeiro processo de fiação, na máquina fiandeira, e os casulos que perderam a ponta, juntamente com os que não tiveram ponta, são encaminhados para a segunda etapa de escupinagem.

Segunda Etapa de Escupinagem: Da quantidade dos casulos que perderam a ponta e daqueles cuja ponta não foi encontrada, da primeira etapa, é gerado novo processo de desenrolamento, verificando-se novamente os casulos que tenham ponta e os sem ponta. Os casulos com ponta são encaminhados para a primeira etapa de fiação, enquanto os casulos sem ponta são processados para se buscar a ponta manualmente. Os casulos cuja ponta foi encontrada são encaminhados para o primeiro processo de fiação, e os demais são encaminhados para a terceira etapa de escupinagem (indica a variável **QT B**, no fluxograma).

Primeira Etapa de Fiação: Os casulos cuja ponta é encontrada são fiados, enviados para outro carretel onde são repassados e depois torcidos, formando-se as meadas, enquanto os casulos que perdem a ponta não são fiados, são encaminhados para a terceira etapa de escupinagem (indica a variável **QT C**, do fluxograma).

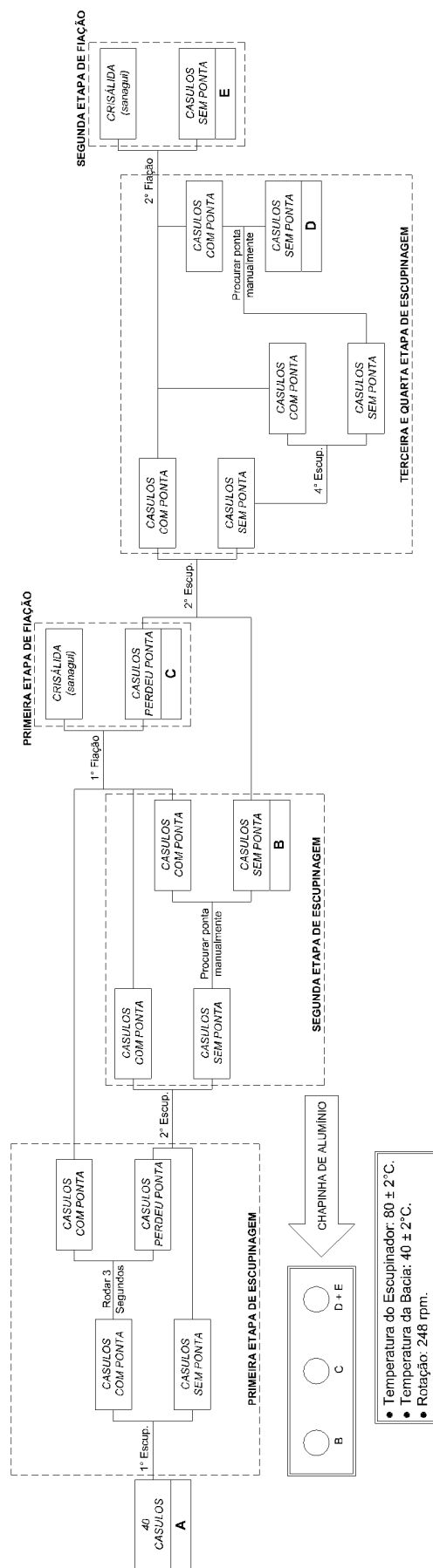
Terceira Etapa de Escupinagem: Os casulos sem ponta oriundos da segunda etapa, e os casulos que perderam a ponta, durante a primeira etapa de fiação, são executados em nova

etapa de escupinagem, onde se verificam, novamente, os que têm ponta e os que continuam sem ponta. Os casulos com ponta são encaminhados para a segunda etapa de fiação, enquanto os sem ponta são enviados para a quarta etapa de escupinagem.

Quarta Etapa de Escupinagem: Os casulos sem ponta, oriundos da terceira etapa, passam por nova escupinagem, onde se busca encontrar a ponta dos casulos para desfiar, aqueles cuja ponta é encontrada são encaminhados para a segunda etapa de fiação, aqueles cuja ponta não é encontrada, processam-se manualmente para encontrar a ponta. Conseqüentemente, aqueles cuja ponta é pega são encaminhados para a segunda etapa de fiação, e os demais são refugados (indica conjuntamente a variável **QT D** do fluxograma).

Segunda Etapa de Fiação: Os casulos com ponta, vindos da terceira e quarta etapa de escupinagem, são processados na segunda etapa de fiação. Se alguns perderem a ponta são refugados, enquanto os demais são desfiados na fiandeira e encaminhados para outro carretel, onde são repassados e torcidos, para formarem as meadas (indica a variável **QT D** do fluxograma).

Figura 12.
FLUXOGRAMA DO TESTE DE KAIJOYO



b) Teste Peso Médio do Fio de seda

O objetivo desse teste foi verificar o volume do teor de seda após os sistemas de secagem.

O teste foi desenvolvido para as duas fases de secagem, a convencional e a combinada, visando atingir o peso médio líquido do fio de seda.

Para ambas as fases, observaram-se o comportamento da desnaturação sericínica e a perda de umidade das amostras de casulos, através do peso médio do mesmo, no início e final do processo de secagem.

O peso médio líquido do fio de seda foi obtido, após o processo de cozimento e desenrolamento do fio de seda, com o expurgamento da pupa, no resultado extraído da diferença entre o peso do casulo com e sem a pupa.

5.3.3 Avaliação Energética

Com base nos parâmetros coletados, foi realizada a avaliação energética para cada um dos sistemas de secagem em análise: secagem convencional e secagem combinada.

Foram avaliados os seguintes itens:

a) Consumo de energia elétrica

Os dados de consumo de energia elétrica foram baseados na potência dos equipamentos utilizados na pesquisa, com base nas informações nas placas dos motores elétricos instalados. Foi medida, também, a corrente elétrica em cada equipamento, no início e ao final da secagem. Para o sistema de secagem à baixa temperatura, foram realizadas algumas medidas em intervalos aleatórios.

Com os dados de corrente consumida e o tempo para cada operação, foi possível calcular-se o consumo de energia elétrica, conforme a Equação 6:

$$P_M = V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (6)$$

em que:

P_M = potência do motor, kW;

V = tensão elétrica, Volts (V);

I = corrente elétrica, Amperes (A);

$\cos \varphi$ = fator de potência.

b) Combustível

O combustível utilizado na caldeira para gerar o vapor de água empregado no secador, para a secagem do casulo, é a biomassa lenha.

A energia consumida pelo combustível na secagem do casulo foi determinada a partir da massa consumida e do PCI (Poder calorífico Inferior) da lenha.

A massa de lenha consumida foi obtida a partir de dados coletados na fiação durante a pesquisa; o PCI foi possível determinar através da umidade do combustível, utilizando a equação de Tiliman, citada por Biaggioni (1994):

$$PCI = 17.974[1 - 0,0114 \cdot U_c] \quad (7)$$

em que:

PCI = poder calorífico inferior de combustível, $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

U_c = teor de umidade do combustível, %b.u.

Analisou-se no laboratório da Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Campus de Botucatu, amostras de lenha utilizada na caldeira da fiação, onde se

encontrou umidade de 20% e, utilizando-se esse valor na equação 7, obteve-se o PCI do combustível.

c) Consumo de energia total do sistema

A energia total do sistema representa o somatório de todos os tipos de energia (energia do combustível e energia elétrica), dispensadas para promover a secagem dos casulos, dentro dos parâmetros de umidade determinados.

A energia total do sistema é dada pela equação:

$$Et = Ee + Ec \quad (8)$$

em que:

$$Et = \text{energia total do sistema, KJ} \quad (9)$$

$$Ec = mc \cdot PCI$$

em que:

$$Ec = \text{energia consumida pelo combustível, KJ}$$

$$mc = \text{massa de combustível consumida, kg}$$

$$PCI = \text{poder calorífico inferior do combustível, KJ.kg}^{-1}$$

$$Ee = 3600 \cdot P_M \cdot to \quad (10)$$

sendo:

$$Ee = \text{energia elétrica consumida, KJ}$$

$$P_M = \text{potência do motor, kW}$$

$$to = \text{tempo de operação, h.}$$

5.4 Análise Estatística dos Dados

Com a finalidade de mensurar e analisar os resultados obtidos aplicou-se uma metodologia para a escolha de um teste estatístico: paramétrico ou não paramétrico.

A alternativa paramétrica, por ser mais precisa, é a preferida. Para tanto, foi necessário realizar um teste de normalidade dos dados, pois, tratando-se de pequenas amostras, havia um risco de ausência de normalidade nos dados, o que inviabilizaria a aplicação de testes paramétricos. Contudo os dados passaram pelo teste de normalidade, conforme mostram as figuras 19 a 24 do apêndice. Desse modo, foi possível a escolha das técnicas de análise de variância (ANAVA), como uma alternativa paramétrica.

5.4.1 O modelo de análise de variância univariado (ANAVA), para experimentos em blocos completamente casualizados (EBCC)

Um experimento bem planejado e bem conduzido irá gerar variáveis que produzirão respostas adequadas à solução do problema. Para a análise dos dados do experimento, optou-se pela técnica da Análise de Variância univariada - ANAVA e pelo modelo probabilístico dos Experimentos em Blocos Completamente Casualizados - EBCC. A opção pelo modelo do EBCC se deu:

- Primeiramente, por existirem duas fontes de variação – uma controlada e outra não controlada. A fonte controlada era o lote tipo *Premium* que chegava à indústria em *épocas diferentes*, enquanto a fonte não controlada era o peso final dos casulos, após o processamento.
- Em segundo lugar, a opção pelo EBCC se deu por tratar-se de um modelo amplamente consagrado e com vasta aplicabilidade na área agrônômica.

Estrutura do modelo.

O modelo probabilístico do EBCC pressupõe que os dados são distribuídos aleatoriamente sob o efeito de duas fontes de variação: uma controlada – blocos – em que se consideraram as diferentes épocas de chegada dos casulos de um mesmo lote à indústria para processamento; e outra, não controlada, – tratamentos – que eram amostras de casulos que completavam o percurso nas esteiras 1, 2 e 3 do secador de fluxo contínuo Yamato, que designamos por P1, P2 e P3, além de uma amostra dos casulos que completavam o ciclo nas 10 esteiras desse mesmo secador e que foram utilizados como grupo controle e

designados por S.Gde. A Tabela 5 mostra a estrutura de uma tabela de apresentação de resultados para dados obtidos de um EBCC:

Tabela 05. Tabela de dados experimentais segundo a disposição do delineamento em blocos completamente casualizados, caso univariado.

Blocos	Tratamentos				$\sum_{j=1}^n y_{\cdot j}$
	T1	T2	...	T _p	
B1	y_{11}	y_{21}	...	y_{p1}	$y_{\cdot 1}$
B2	y_{12}	y_{22}	...	y_{p2}	$y_{\cdot 2}$
...
B _n	y_{1n}	y_{2n}	...	y_{pn}	$y_{\cdot n}$
$\sum_{i=1}^p y_{i\cdot}$	$y_{1\cdot}$	$y_{2\cdot}$...	$y_{p\cdot}$	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n y_{ij} = y_{\cdot\cdot}$

onde:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}, \text{ com } i = 1, 2, \dots, p \text{ e } j = 1, 2, \dots, n$$

y_{ij} : variável resposta;

μ : efeito médio global;

τ_i : efeito do i -ésimo tratamento;

β_j : efeito do j -ésimo bloco;

ε_{ij} : erro aleatório independente e identicamente distribuído

$$\varepsilon_{ij} \sim N(0; \sigma^2)$$

Blocos e tratamentos inicialmente são considerados como fatores fixos. Entretanto os efeitos de blocos e tratamentos são definidos como desvios em relação ao efeito médio global, tal que:

$$\sum_{i=1}^I \tau_i = 0 \text{ e } \sum_{j=1}^J \beta_j = 0$$

Como o interesse maior é testar se os efeitos médios dos tratamentos podem ser considerados iguais, então o conjunto das hipóteses a serem testadas pode ser descrito como:

$$\begin{cases} H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_I; \\ H_1 : \mu_i \neq \mu_{i'} \text{ com } i, i' = 1, 2, \dots, I, \text{ ou seja, ao menos uma das médias difere das demais} \end{cases}$$

Uma forma equivalente de escrever o conjunto de hipóteses para o efeito dos tratamentos pode ser descrita como:

$$\begin{cases} H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_I = 0; \\ H_1 : \tau_i \neq 0 \quad \text{com } i = 1, 2, \dots, I, \text{ ou seja, ao menos o efeito de um dos tratamentos difere dos demais} \end{cases}$$

5.4.2 O modelo de análise de variância univariado (ANAVA), para o delineamento inteiramente casualizado - DIC

O delineamento inteiramente casualizado – DIC, também conhecido como modelo de análise de variância a um fator, é a opção mais simples de experimento utilizada em técnicas de análise de variância - ANAVA.

Estrutura do modelo.

O modelo probabilístico do DIC pressupõe que os dados sejam distribuídos aleatoriamente sob o efeito de apenas uma fonte de variação que, nesse caso, se denominam tratamentos – amostras de casulos que completavam o percurso nas esteiras 1, 2 e 3 do secador de fluxo contínuo Yamato, que designamos de P1, P2 e P3 além de uma amostra dos casulos que completavam o ciclo nas 10 esteiras desse mesmo secador e que foram utilizados como grupo controle e designados por S.Gde. O quadro abaixo mostra a estrutura de uma tabela de apresentação de resultados para dados obtidos de um DIC:

Tabela 06. Tabela de dados experimentais segundo a disposição do delineamento em blocos completamente casualizados, caso univariado.

Repetições	Tratamentos				Total
	T1	T2	...	T _p	
1	y_{11}	y_{21}	...	y_{p1}	
2	y_{12}	y_{22}	...	y_{p2}	
...	
n	y_{1n}	y_{2n}	...	y_{pn}	
$\sum_{i=1}^p y_{i\bullet}$	$y_{1\bullet}$	$y_{2\bullet}$...	$y_{p\bullet}$	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n y_{ij} = y_{\bullet\bullet}$

onde:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}, \text{ com } \quad i = 1, 2, \dots, p \text{ e } j = 1, 2, \dots, n$$

y_{ij} : variável resposta;

μ : efeito médio global;

τ_i : efeito do i -ésimo tratamento;

ε_{ij} : erro aleatório independente e identicamente distribuído

$$\varepsilon_{ij} \sim N(0; \sigma^2)$$

Os tratamentos inicialmente são considerados como fatores fixos. Entretanto seus efeitos são definidos como desvios em relação ao efeito médio global, tal que:

$$\sum_{i=1}^I \tau_i = 0$$

Como o interesse maior é testar se os efeitos médios dos tratamentos podem ser considerados iguais, então o conjunto das hipóteses a serem testadas pode ser descrito como:

$$\begin{cases} H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_I; \\ H_1 : \mu_i \neq \mu_{i'} \quad \text{com } i, i' = 1, 2, \dots, I, \text{ ou seja, ao menos uma das médias difere das demais} \end{cases}$$

Uma forma equivalente de escrever o conjunto de hipóteses para o efeito dos tratamentos pode ser descrita como:

$$\begin{cases} H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_I = 0; \\ H_1 : \tau_i \neq 0 \quad \text{com } i = 1, 2, \dots, I, \text{ ou seja, ao menos o efeito de um dos tratamentos difere dos demais} \end{cases}$$

Comparando os efeitos do resíduo, modelos de ANOVA: E.B.C.C. e D.I.C.

Nos dois modelos, um dos componentes obtidos nos desdobramentos da ANAVA é o quadrado médio do resíduo simbolicamente designado por QMRes. Esse componente é utilizado como denominador na expressão do teste “F” e representa a variância global presente no conjunto de dados. No EBCC, calcula-se o valor de “F” para blocos e para tratamentos:

Para blocos: $F = \text{QMBlocos}/\text{QMRes}$ e

Para tratamentos: $F = \text{QMTrat}/\text{QMRes}$.

Enquanto no DIC calcula-se o valor de “F” apenas para tratamentos:

Para tratamentos: $F = QM_{Trat}/QM_{Res}$.

Não há necessidade de analisar os efeitos devido a blocos no EBCC, pois, quando esse efeito não ocorre, a variabilidade presente se distribui apenas entre os componentes dos tratamentos e do resíduo. Nos dois modelos a obtenção dos QM_{Res} ocorre do seguinte modo:

No EBCC: $QM_{Res} = SQ_{Res}/[(I-1)\times(J-1)]$;

No DIC: $QM_{Res} = SQ_{Res}/ [I\times(J-1)]$.

Observa-se facilmente que o denominador da expressão que produz o QM_{Res} é maior no modelo DIC que no modelo do EBCC, ou seja, a utilização inadequada de um dos modelos estaria “mascarando” os efeitos do resíduo no outro e vice-versa.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de secagem combinada (alta e baixa temperatura) ocorreu em tratamentos efetuados no mês de junho do ano de 2006, no mês de janeiro do ano de 2007, no mês de março de 2007, no mês de maio de 2007 e no mês de junho de 2007. A amostra utilizada e coletada na pesquisa é considerada de primeira qualidade, tipo Premium, proveniente do mesmo lote na época dos tratamentos, sendo utilizado tanto na secagem convencional como na secagem combinada, em que os equipamentos utilizados e os processos estabelecidos ocuparam o mesmo ambiente.

Foram consideradas, nos sistemas de secagem, as variáveis: a temperatura, o teor de umidade, peso dos casulos no início, durante e no final das secagens, tempo de secagem, o consumo de combustível e o consumo de energia elétrica usada no processo.

6.1 Teor de umidade

O teor de umidade foi analisado conforme os resultados dos ensaios, a seguir:

Tabela 07. Resultados dos tempos médios obtidos durante os 5 ensaios de secagem.

Variáveis (*)	unidades	Tratamentos (**)			
		E1	E2	E3	SEC GR
T.M.S.	horas	196,80	196,80	196,80	7,00
U.R.	%	21,20	21,20	21,20	21,20
T.M.	°C	25,32	25,32	25,32	25,32
T.U.F.	%	42,13	40,63	40,83	40,60
P.T.U.	%	80,83	75,52	54,44	-

(*) **T.M.S.** : Tempo médio de secagem, em horas; **U.R.** : umidade relativa do ar ambiente, em porcentagem; **T.M.**: Temperatura média ambiente em graus Celsius (°C); **T.U.F.**: Teor de umidade final em porcentagem; **P.T.U.**: Percentagens do teor de umidade no final das esteiras 1, 2 e 3.

(**) **E1, E2 e E3**: Esteiras 1, 2 e 3 respectivamente; **SEC GR**: Secador grande Yamato.

Analisando a Tabela 7, observou-se que o tempo de secagem, tanto do secador Yamato, como a do protótipo (secagem combinada), a temperatura média do ambiente e a umidade média do ar, durante o período de secagem, não teve influência sobre o sistema de secagem proposto. Observou-se, ainda, que a porcentagem de água contida nos casulos ao serem retirados de cada esteira, foi obtida considerando-se o peso inicial do processo de secagem, como 100%.

Portanto os casulos, ao serem retirados de cada esteira, possuem um percentual de água correspondente ao tempo de secagem percorrido na esteira, em alta temperatura, conforme especificação na Tabela 4. Verificou-se, ainda, que a porcentagem de água dos casulos registrada em cada esteira do secador convencional para serem ingressados no protótipo, apresentou uma variabilidade em torno de 5% entre os ensaios.

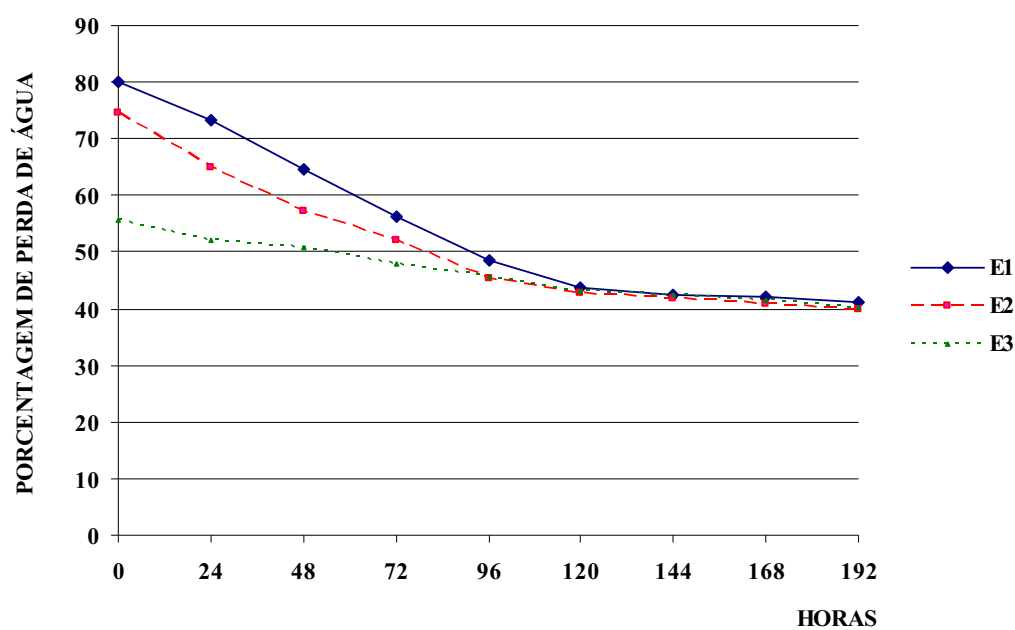


Figura 13. Curva de secagem obtida na fase de baixa temperatura para os casulos procedentes das esteiras 1, 2 e 3 do secador Yamato, no 1º ensaio.

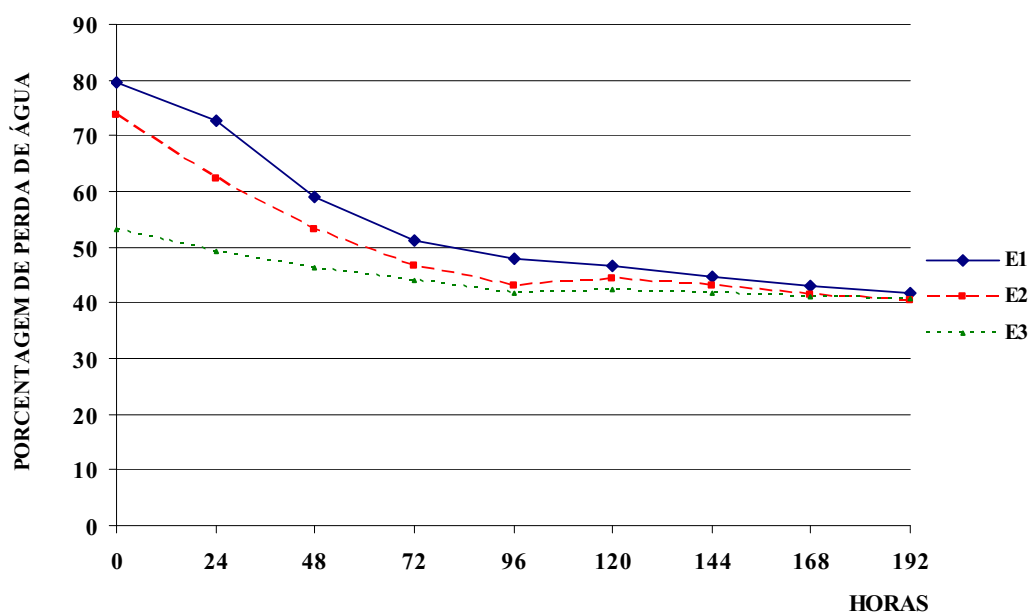


Figura 14. Curva de secagem obtida na fase de baixa temperatura para os casulos procedentes das esteiras 1, 2 e 3 do secador Yamato, no 2º ensaio.

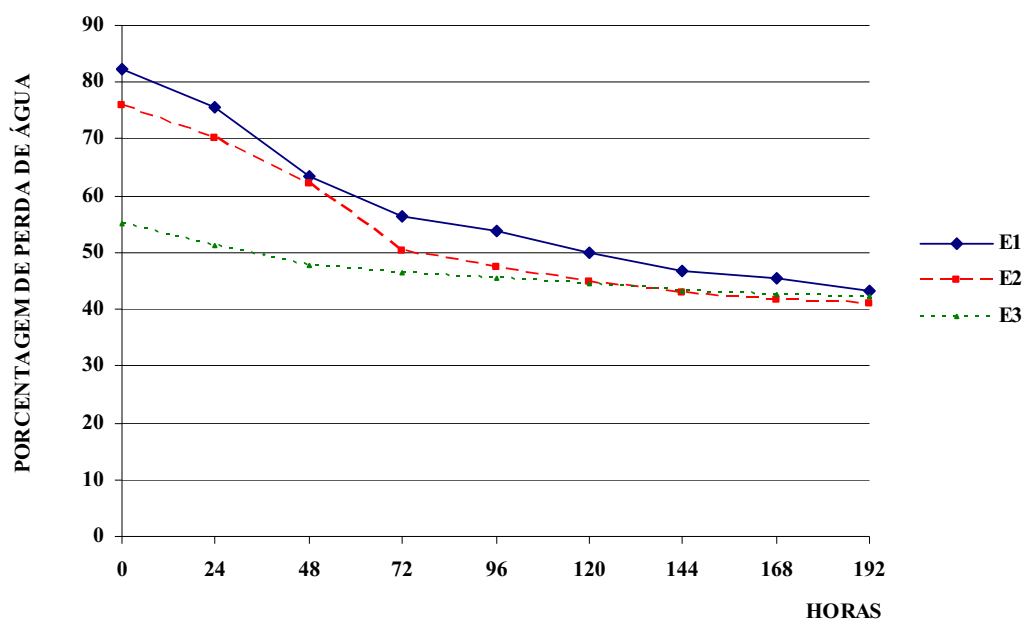


Figura 15. Curva de secagem obtida na fase de baixa temperatura para os casulos procedentes das esteiras 1, 2 e 3 do secador Yamato, no 3º ensaio.

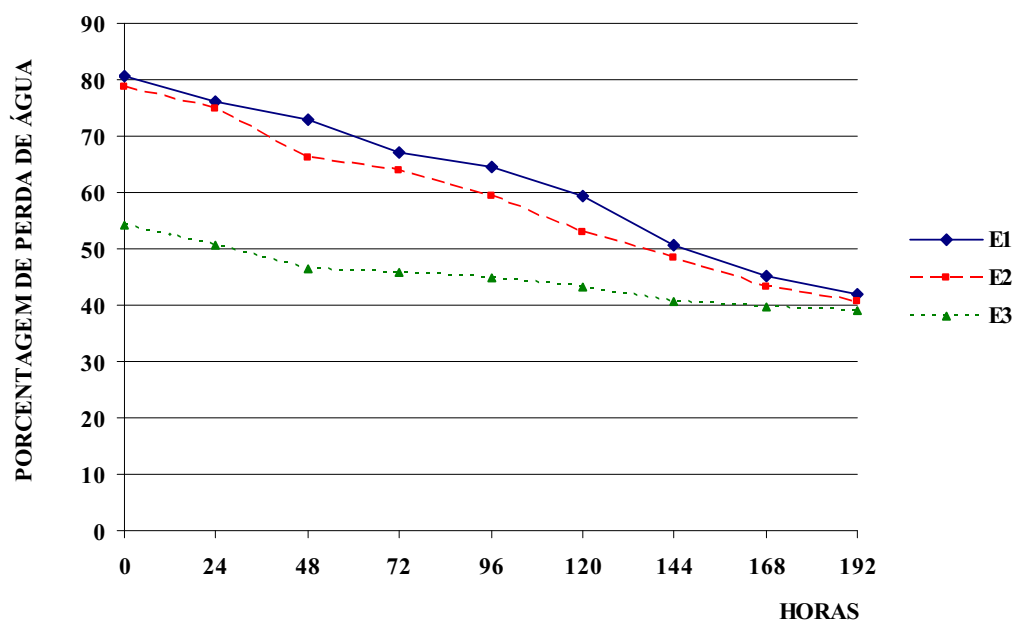


Figura 16. Curva de secagem obtida na fase de baixa temperatura para os casulos procedentes das esteiras 1, 2 e 3 do secador Yamato, no 4º ensaio.

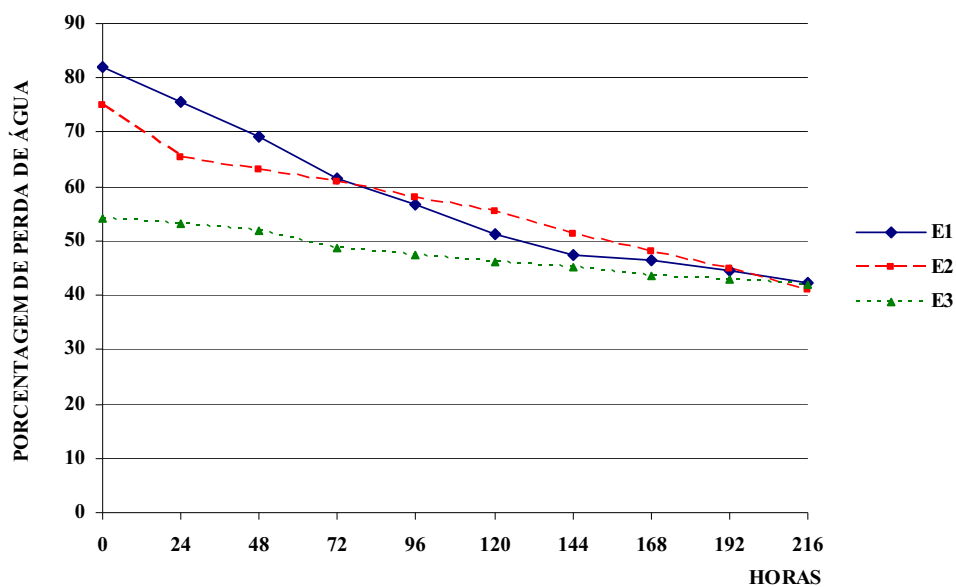


Figura 17. Curva de secagem obtida na fase de baixa temperatura para os casulos procedentes das esteiras 1, 2 e 3 do secador Yamato, no 5º ensaio.

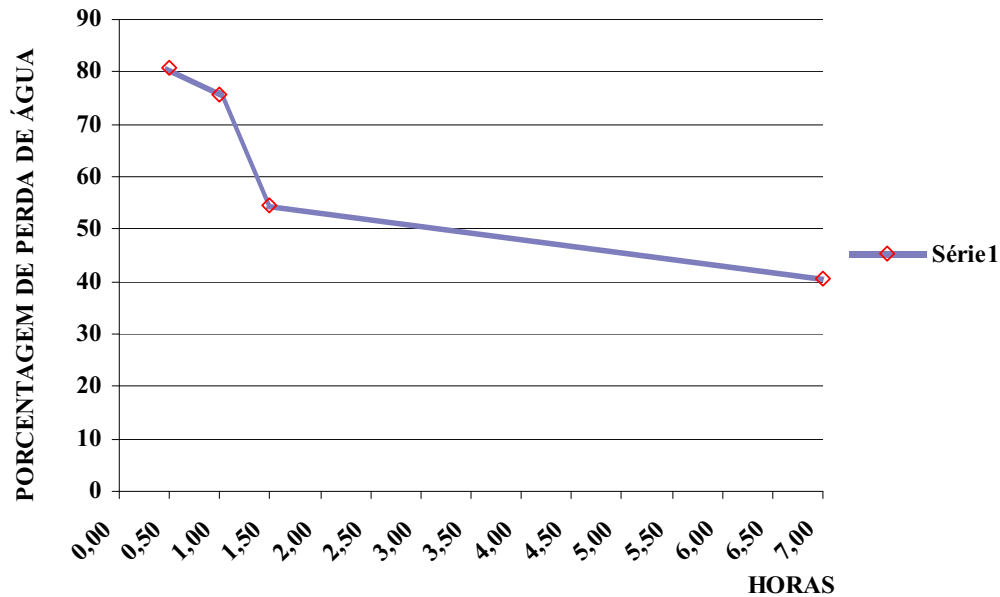


Figura 18. Curva de secagem média, relativa aos cinco ensaios, obtida na fase de alta temperatura, para os casulos procedentes das esteiras 1, 2, 3 e 10 do secador Yamato.

Após a análise das Tabelas de 8 a 12 e Figuras de 13 a 18, observou-se que o teor de umidade desde a entrada do lote no processo de secagem convencional comparado com a combinada, ocorreu no mesmo padrão, isto é, o lote de casulo atingiu o percentual estimado no processo de secagem de, aproximadamente, 41%, do peso inicial da amostra.

Embora o tempo de secagem do processo convencional, fase de alta temperatura, com a combinada (alta para baixa temperatura), tenha divergido muito, ou seja, o convencional tenha utilizado 7 horas, aproximadamente, enquanto a combinada utilizou em média 196,8 horas, o importante é que ocorreu a secagem, atingindo, assim, o objetivo principal e equiparando-se o secador Yamato com o protótipo, no processo aplicado. Portanto, houve a perda de água atingindo os 59% , conforme os padrões do sistema de secagem usados pela Bratac.

Tomando-se como base as Tabelas de 8 a 12 e as Figuras de 13 a 18, observou-se que os casulos provenientes da 2ª esteira, em todos os ensaios, atingiram o menor teor de umidade.

6.2 Peso médio do fio

Os valores médios do peso das amostras, coletados nos diversos tratamentos do processo de secagem estão apresentados na tabela abaixo, tanto para o processo de secagem combinada, quanto para o processo de secagem convencional. Também estão apresentados os testes de medida de eficiência do processo (peso médio do fio, em porcentagem) e da qualidade do fio de seda (porcentagem média do teste Kaijyo).

Tabela 08. Valores médios do peso do fio – M_P_F, em gramas, medidos em 5 momentos distintos no tempo.

M P F	E1	E2	E3	SEC GR
T1	12,33	12,70	12,13	12,20
T2	14,97	16,37	15,27	16,30
T3	15,27	16,67	16,13	16,60
T4	14,63	15,97	15,13	15,70
T5	14,33	15,57	14,93	15,20

Analisando-se a Tabela 8, observa-se que o peso médio do fio de seda da segunda esteira (E2), após secagem, em todos os tratamentos, é superior em relação às outras esteiras, assim como no processo convencional (SEC GR). Isso pode ser interpretado da seguinte maneira: apesar do tempo de secagem ser menor, durante o processo convencional, a secagem combinada minimiza o stress causado pelas altas temperaturas do secador Yamato, pois o tempo de permanência dos casulos no sacador convencional fica reduzido a aproximadamente 13% do tempo de permanência total. A umidade restante será retirada na etapa de baixa temperatura do processo, em que a temperatura é próxima à do ambiente, propiciando, assim, a secagem natural dos casulos.

Tabela 09. Resultado do teste “F”, da ANAVA, de um experimento em blocos completamente casualizados, para a variável M_P_F, medida em gramas. Entre os valores apresentados, destacam-se também: o coeficiente de variação do experimento bem como os valores tabelados (críticos), para o teste “F”

Fonte da variação	gl	SQ	MQ	F	valor-P	F crítico
Tratamentos	4	36,200	9,050	114,798	$1,87 \cdot 10^{-9}$	3,259
Blocos	3	3,895	1,298	16,470	0,000149	3,490
Resíduo	12	0,946	0,079			
Total	19	41,041				

OBS: CV% = 1,88%

O teste “F” de Fisher / Snedecor, no nível de significância de 5%, indica que, pelo menos, uma das médias difere das demais médias de tratamentos. O coeficiente de variação foi baixo, indicando que houve um excelente controle local no experimento. Utilizou-se o teste de Tukey para efeito de classificação das médias.

Analisando-se a Tabela 9, o resultado da ANAVA foi altamente significativo, tanto para tratamentos como para o de blocos. Embora o efeito de blocos fosse muito mais significativo do que o efeito de tratamentos, não há justificativa para analisá-lo, pois esse resultado indica apenas que a opção de implantação do experimento, segundo o modelo probabilístico do EBCC, foi acertada (MONTGOMERY, 1999); logo, o importante é analisar o efeito de tratamentos o qual também foi altamente significativo. O teste “F” para

tratamentos indica que, pelo menos, um dos tratamentos difere dos demais, ou seja, existem diferenças estatisticamente significativas em pelo menos uma das esteiras e/ou no secador grande, para a variável peso médio do fio (P_M_F). O coeficiente de variação baixo indica que a variabilidade presente está sob controle $CV\% = 1,88\%$

Tabela 10. Resumo contendo média e erro padrão da média, bem como os resultados do teste de Tukey para a classificação de médias, da variável M_P_F, medida em gramas, avaliados em 5 momentos distintos no tempo.

Tratamentos	$\bar{x} \pm \frac{s}{\sqrt{n}}$	Teste de Tukey	
Esteira 01 – E01	14,31 ± 0,60	a	
Esteira 03 – E03	14,72 ± 1,03	a	b
S. Yamato – SY	15,20 ± 1,39	b	c
Esteira 02 – E02	15,45 ± 1,14		c

OBS: Para o teste de Tukey, no nível de significância de 5%, médias acompanhadas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, (DMS = 4,05).

Considerando-se a variável Peso Médio do Fio (P_M_F), na Tabela 10, o teste de Tukey indica que a maior produtividade ocorreu entre os casulos retirados da 2ª esteira (E2) e dos retirados do secador grande (Sec.Gr), nessa ordem, sendo que não se observaram diferenças estatisticamente significativas entre esses dois materiais. A segunda faixa de produtividade ocorreu entre os casulos retirados do secador grande (Sec.Gr) e da 3ª esteira (E3) nessa ordem, sendo que também não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre esses dois materiais e, finalmente, a terceira e última faixa de produtividade ocorreu entre os casulos retirados da 3ª esteira (E3) e daqueles retirados da 1ª esteira (E1), sendo que também não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre esses dois últimos materiais.

Tabela 11. Valores médios do teste de Kaijyo - M_%K, em porcentagem, medidos em 5 momentos distintos no tempo(Blocos)

M %K	E1	E2	E3	SEC GR
T1	79,00	83,33	80,00	80,00
T2	77,33	83,33	79,67	82,00
T3	76,33	84,00	79,33	82,00
T4	75,67	82,33	78,67	79,00
T5	73,00	82,33	78,00	82,00

Verificando-se a Tabela 11, observa-se que a porcentagem média obtida no teste de Kaijyo é maior na 2ª esteira (E2), em todos os blocos, o que indica que houve maior eficiência no desenrolamento do fio, uma vez que a retirada dos casulos na segunda esteira do secador convencional e, concluída a secagem, à temperatura baixa, demonstra, apesar de levar mais tempo em relação à secagem convencional, um rendimento maior, em razão de menor taxa de secagem obtida.

Tabela 12. Resultado do teste “F”, da ANAVA, de um delineamento inteiramente casualizado, para a variável M_%K, medida em gramas. Entre os valores apresentados, destacam-se também: o coeficiente de variação do experimento bem como os valores tabelados (críticos), para o teste “F”

Fonte da variação	gl	SQ	MQ	F	valor-P	F crítico
Tratamentos	3	125,09	41,697	20,649	$9,51 \cdot 10^{-6}$	3,239
Resíduo	16	32,31	2,019			
Total	19	157,40				

OBS: CV% = 1,78%

O teste “F” de Fisher / Snedecor, no nível de significância de 5%, indica que, pelo menos, uma das médias de tratamentos difere das demais médias. O coeficiente de variação foi baixo, indicando que houve um excelente controle local no experimento. Utilizar-se-á o teste de Tukey para efeito de classificação das médias.

O Resultado da ANAVA, observada na Tabela 12, mostra que foi altamente significativo apenas para efeito de tratamentos. O fato de o efeito de blocos não ser significativo indica que não há justificativa para sua utilização do EBCC. Logo, optou-se por recuperar os graus de liberdade perdidos no resíduo da ANAVA do EBCC e refazer a análise optando pelo Delineamento Inteiramente Casualizado – D.I.C., onde os blocos foram tratados como repetições.

Tabela 13. Resumo contendo média e erro padrão da média, bem como os resultados do teste de Tukey para a classificação de médias, da variável M_%K, medida em porcentagem, avaliados em 5 momentos distintos no tempo.

Tratamentos	$\bar{x} \pm \frac{s}{\sqrt{n}}$	Teste de Tukey	
Esteira 01 – E01	76,27 ± 0,99	a	
Esteira 03 – E03	79,13 ± 0,36	b	
S. Yamato – SY	81,00 ± 0,63	b	c
Esteira 02 – E02	83,07 ± 0,32	c	

OBS: Para o teste de Tukey, no nível de significância de 5%, médias acompanhadas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, (DMS = 4,20.)

Nesse caso, percebe-se que o delineamento completamente casualizado – D.I.C., foi a melhor opção, visto que foram recuperados os graus de liberdade do resíduo da ANAVA.

O resultado da ANAVA foi altamente significativo para tratamentos (não alterou o resultado da ANAVA para o EBCC). O teste “F” para tratamentos indica que pelo menos um dos tratamentos difere dos demais, ou seja, existem diferenças estatisticamente significativas em pelo menos uma das esteiras e/ou no secador grande, para a variável MÉDIA DA % KAIJYO (M_%K), conforme Tabela 13.

Considerando-se a variável Média da % Kaijyo (M_%K), o teste de Tukey indica que a maior produtividade ocorreu entre os casulos retirados da 2ª esteira (E2), do secador grande (SecGr) e da 3ª esteira (E3), nessa ordem, sendo que não se observaram diferenças estatisticamente significativas entre esses três materiais. A segunda faixa de produtividade ocorreu entre os casulos retirados do secador grande (SecGr), da 3ª esteira (E3) e da 1ª esteira (E1), nessa ordem. Também não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre esses três materiais.

6.3 Avaliação Energética

Em relação ao consumo de energia aplicado nos sistemas de secagem, ou seja, secagem convencional e secagem combinada, determinou-se o consumo total de energia, conforme os itens a seguir.

Comparou-se a secagem combinada, realizada com os casulos oriundos da 2ª esteira, com a secagem convencional; em razão dos resultados obtidos nos testes de qualidade efetuados com todos os ensaios, destacou-se a referida esteira.

6.4 Consumo de energia elétrica

Quanto ao consumo de energia elétrica e energia combustível no processo de secagem combinada (alta e baixa temperatura), aplicado nos ensaios durante 196,8 horas, em média, para secar 6,7 kg de casulos, assim como o consumo dessas energias para secar 1400 kg de casulos durante 7 horas, no sistema de secagem convencional, obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 14.

Tabela 14. Resultados obtidos na avaliação energética dos sistemas de secagem convencional e combinada dos casulos.

	Secagem Convencional	Secagem Combinada	
		Fase Alta Temperatura (°C)	Fase Baixa Temperatura(°C)
Energia Elétrica (MJ)	1.109,3	0,06984	55,97
Energia Combustível (MJ)	33.996,02	21,4	--
Sub-Total (MJ)	35.105,32	21,47	55,67
Total do consumo (MJ)	35.105,32	77,44	
Massa Casulo (kg)	1.400	6,17	

A Tabela 14 mostra que, na secagem convencional, a participação da energia do combustível (33.996,02 MJ) destacou-se no consumo e a da energia elétrica (1.109,3 MJ) foi importante. Na secagem combinada, na fase baixa, a participação de energia elétrica (55,97) foi predominante em relação à energia combustível (21,4MJ).

A Tabela 14 apresenta, conforme a massa de casulo utilizada, o percentual e o consumo específico de energia em MJ.kg^{-1} nos dois sistemas de secagem de casulo em estudo.

Tabela 15. Percentual e consumo de energia dos sistemas de secagem convencional e combinada dos casulos

	Secagem Convencional		Secagem Combinada			
			Fase Alta		Fase Baixa	
			Temperatura (°C)		Temperatura(°C)	
	MJ.kg ⁻¹	(%)	MJ.kg ⁻¹	(%)	MJ.kg ⁻¹	(%)
Energia Elétrica	0,79	3,2	0,01	0,08	9,07	72,27
Energia Combustível	24,28	96,8	3,47	27,65		--
Total	25,07	100,0	3,48	27,73	9,07	72,27

Consumo Específico de Energia				
Secagem convencional			Secagem combinada	
MJ.kg ⁻¹	(%)		MJ.kg ⁻¹	(%)
25,07	100,0		12,55	100,0

Comparando-se os resultados do consumo de energia obtidos na análise energética do secador convencional (alta temperatura) e o consumo de energia do protótipo, através da secagem combinada (alta e baixa temperatura), apurada pela 2ª esteira. A Tabela 15 apresenta que o destaque no consumo, em Megajoule por kg de casulo, foi a participação da energia do combustível (24,28 MJ.kg⁻¹), na secagem do sistema convencional, corresponde a 96,78% do total de energia consumida nesse sistema. Isso pode ser explicado em razão do alto consumo, desde a transformação do combustível lenha (energia potencial na caldeira) em vapor (energia térmica).

Por outro lado, a participação da energia elétrica (9,07 MJ.kg⁻¹) no sistema de secagem combinada, fase baixa, foi importante, correspondendo a 72,27% do total de energia gasta nesse sistema de secagem, devido à utilização de uma grande quantidade de energia elétrica consumida para acionar o motor do ventilador durante os oito dias de secagem no protótipo. Na fase alta o consumo dessa energia não foi significativo.

Nota-se, ainda, que, apesar do alto dispêndio de energia no processo de secagem, pelo secador convencional, o mesmo processou um lote de 1.400kg, onde se verifica

um consumo específico de $25,07\text{MJ.kg}^{-1}$, enquanto, no processo de secagem no protótipo, processando-se um total 6,17Kg mostrou um consumo específico de $12,55\text{MJ.kg}^{-1}$, onde pôde ser observado um ganho de aproximadamente 50%.

Ribeiro (2005), em seu trabalho sobre avaliação energética da secagem combinada de milho na região de Pedrinha Paulista, SP, observou um ganho de, aproximadamente, 30% na secagem combinada com alta e baixa temperatura, em relação à secagem convencional.

A Tabela 16 apresenta os resultados médios, a partir dos dados apresentados por Ribeiro (2005) que determinou o ganho de 30%.

Tabela 16: Resultados médios obtidos na secagem combinada em lotes de 90 t, em alta temperatura (AT) e em baixa Temperatura (BT), e na secagem convencional, em alta temperatura (AT)

Secagem Combinada		
Parâmetros	Valores Médios	
	(KJ)	(MJ)
Ec - Energia de combustível	41.906.965,76	41.906,97
Ee - Energia Elétrica (alta temperatura)	353.467,33	353,47
Ee - Energia Elétrica (Baixa temperatura)	4.103.737,00	4.103,74
Et - Energia Total	46.364.170,00	46.364,17
Secagem Convencional		
Parâmetros	Valores Médios	
	(KJ)	(MJ)
Ec - Energia de combustível	70.109.095,00	70.109,06
Ee - Energia Elétrica	545.677,00	545,68
Et - Energia Total	70.654.772,00	70.654,77

7 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos nos testes experimentais, no processo de secagem de casulos do bicho-da-seda espécie Bombyx mori L., conclui-se que:

- O processo de secagem combinada em casulos do bicho-de-seda foi viável, permitindo atingir, além do teor de água adequado para o armazenamento, a desnaturação sericínica e o sacrifício da pupa;

- A interrupção da secagem em alta temperatura, com a retirada dos casulos na segunda esteira, foi o tratamento que permitiu obter os melhores resultados de qualidade de seda, equiparando-se estatisticamente ao desempenho da secagem convencional;

- A secagem combinada, embora se estendendo por um período de tempo maior, atingiu $12,55 \text{ MJ.kg}^{-1}$ de casulo seco, contra $25,07 \text{ MJ.kg}^{-1}$, obtidos na secagem convencional.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIAGGIONI, M.A.M. **Análise da secagem de grãos de milho com ar em temperatura próxima à ambiente, para as condições climáticas de Botucatu-SP.** 1994. 62f.

Dissertação(Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade federal de Viçosa, UFV, Viçosa, 1994.

BIANCHI, G. Dante. **Fibras Têxteis.** Rio de Janeiro: Ao livro Técnico, 1945. p. 175-196.

CAMBUÍ, J.P. **Simulação numérica de secagem de casulos do Bicho-da-Seda em secador de esteira e fluxos cruzados.** 2004, 80f (Trabalho de Conclusão de Curso) Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Campo Grande, Campina Grande, 2004.

CORRADELLO, E. de F. A.. **Bicho-da-seda e amoreira: da folha ao fio, a trama de um segredo milenar.** São Paulo: Ícone Editora Ltda, 1987. 101 p.

FIAÇÃO DE SEDA BRATAC S.A. **Instruções sobre funcionamento do secador de casulos.** São Paulo.1984. 11p.

FONSECA, A. da S.; FONSECA, T. C. **Cultura da amoreira e criação do bicho-da-seda: sericicultura.** 2.ed. São Paulo: Nobel, 1988. 246p.

GARCIA, Cristiani Ghilhermeti. **O custeio variável na fabricação de fios de fibras naturais: um estudo de caso em uma fiação de bicho-da-seda (*Bombyx mori*).** Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2004 (monografia de graduação em bacharel em ciências contábeis).

HANADA, Y.; WATANABE, J. K. **Manual de criação do bicho-da-seda**. Curitiba: COCAMAR, 1986. 224p.

HOLANDA, PEDRO R. H. DE; CAMBUÍ, JÚZIO P.; LIMA, ANTONIO G. B. DE. **Estudo da Secagem de Casulos do Bicho-da-Seda em Fluxos Cruzados: Modelagem e Simulação**. XXXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Canoas, RS, julho-2005.

LEE, Yong-Woo. **Silk Reeling and Testing Manual**. FAO Agricultural Services Bulletin. Nº 136, 1999, disponível na página de Internet: www.fao.org/docrep/x2099E/x2099E00.htm.

LIMA, A. G. B.; NEBRA, S. A.; MATA, S. F. da. Equação de secagem em camada fina para casulos do bicho-da-seda (*Bombyx mori* L). In: XXVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1998, Poços de Caldas, **Anais.....**, V. 4, p. 1-3.

LIMA, A. G. B.; NEBRA, S. A.; W. L. R. Gallo: “**Análise Energética e Exergética em Secadores de Bicho-da-Seda do tipo operação Contínua e Fluxos Cruzados**”, XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 1, 1997, 1-3.

LIMA, A. G. B. de; MATA, S. F. da. **Princípios Gerais sobre Sericultura(I)**: aspecto científicos do casulo e fio-de-seda produzidos pelo *Bombyx mori* L. . Fortaleza: Revista engenharia, Ano XI, nº 13, 1995. p.25-30.

LIMA, A. G. B. de. **Estudo da secagem e dimensionamento de secador de casulos do bicho-da-seda**. 1995. 144f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1995.

MONTGOMERY, D. C. Design and Analysis of Experiments, Third Edition, John Wiley & Sons, 1991, 649p.

MELLO, P. C. **A seda brasileira luta para sobreviver**. O Estado de São Paulo, 24 abr. 2005 Caderno B, p.12.

MIRANDA, J. E; BORTOLI, S. A. de; TAKAHASHI, R. Efeitos de três análogos do hormônio juvenil aplicados em bicho-da-seda, *Bombyx mori* L. (Lepidóptera: Bombycidae) **Neotropical Entomology** 31(1): p.19-25 (2002)

PUZZI, D. **Abastecimento e Armazenagem de Grãos**. Campinas: Instituto Campinas de Ensino Agrícola, 1986.

RIBEIRO, J. P. **Avaliação energética da secagem combinada de milho na região de Pedrinhas Paulista – SP. 2005.** Dissertação (Mestrado) em Agronomia, Área de Concentração em Energia na Agricultura, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Botucatu, 2005.

SHIRUO, C; JIN-YONG, C; MUJUMDAR, A. S. **A preliminary study of steam drying of silkworm cocoons. Drying Technology.**, v.10, n° 1, p. 151-160, 1992.

SHIRUO, Chein. **Studies ou drying of silkworm cocoons. Drying of solids Recent International Developments.** Montreal: Arun S. Mujumdar. 2v. V.2, 1986. p. 240-244

TAKAHASHI, J. N. Agroindústria sericícola. In: VI Encontro Nacional de Sericicultura. 1987, Natal, **Anais....** p. 57-60.

VASCONCELOS, L. G. S., ALSINA, O. L. Sanches. **Drying simulation of “carioca” beans in cross-flow. Drying 92.** Montreal: Arum S. Mujumdar. Part. B. 1992. p. 1501-1507.

WATANABE, J. Kenjiro et al. **Cadeia produtiva da seda no Estado do Paraná.** <http://www.pr.gov.br/cadeias/seda.html>. Consultado na INTERNET em 17 de outubro de 2006.

YAMAOKA, R Seiji. **Cadeia Produtiva da seda no Estado do Paraná.** Iapar, 1997.

ZANETTI, Ronald. Notas de aula. **Encasulamento.** Disponível em: <http://www.den.ufla.br/Professores/Ronald/Disciplinas/Notas%20Aula/Sericicultura%20encasulamento.pdf>>. Acesso em: 24 maio de 2007.

APÉNDICE

Tabela 17: Dados do primeiro ensaio: variação percentual do teor de umidade dos casulos procedentes das esteiras 1, 2 e 3 durante o primeiro ensaio e variação relativa percentual da umidade das amostras das esteiras 1 e 3 em relação a amostra da esteira 2 (base).

Variação percentual do teor de umidade - $\Delta\%$			Umidade relativa %	
E1	E2	E3	E1/E2	E3/E2
80,03	74,51	55,48	107,41	74,46
73,40	65,07	52,17	112,81	80,18
64,69	57,15	50,83	113,19	88,93
56,31	52,00	47,92	108,30	92,15
48,69	45,24	45,63	107,63	100,86
43,70	42,67	43,05	102,42	100,89
42,43	41,72	42,38	101,70	101,57
42,03	40,82	41,36	102,96	101,31
41,23	40,01	40,30	103,05	100,72

Tabela 18: Dados do segundo ensaio: variação percentual do teor de umidade dos casulos procedentes das esteiras 1, 2 e 3 durante o segundo ensaio e variação relativa percentual da umidade das amostras das esteiras 1 e 3 em relação a amostra da esteira 2 (base).

Variação percentual do teor de umidade - $\Delta\%$			Umidade relativa %	
E1	E2	E3	E1/E2	E3/E2
79,42	73,65	53,19	107,83	72,22
72,87	62,28	49,11	117,00	78,86
59,02	53,14	46,37	111,06	87,27
51,09	46,72	43,93	109,35	94,02
47,88	43,12	41,89	111,04	97,16
46,53	44,21	42,46	105,26	96,05
44,79	43,07	41,78	103,98	97,00
42,93	41,32	41,04	103,91	99,32
41,80	40,33	40,65	103,62	100,77

Tabela 19: Dados do terceiro ensaio: variação percentual do teor de umidade dos casulos procedentes das esteiras 1, 2 e 3 durante o terceiro ensaio e variação relativa percentual da umidade das amostras das esteiras 1 e 3 em relação à amostra da esteira 2 (base).

Variação percentual do teor de umidade - $\Delta\%$			Umidade relativa %	
E1	E2	E3	E1/E2	E3/E2
82,16	75,81	55,13	108,37	72,72
75,73	70,28	51,22	107,76	72,88
63,39	62,15	47,74	101,98	76,81
56,24	50,40	46,54	111,59	92,34
53,73	47,36	45,45	113,43	95,95
49,87	44,71	44,68	111,54	99,92
46,63	42,80	43,10	108,93	100,70
45,39	41,61	42,52	109,09	102,19
43,22	40,89	42,14	105,69	103,06

Tabela 20: Dados do quarto ensaio: variação percentual do teor de umidade dos casulos procedentes das esteiras 1, 2 e 3 durante o quarto ensaio e variação relativa percentual da umidade das amostras das esteiras 1 e 3 em relação à amostra da esteira 2 (base).

Variação percentual do teor de umidade - $\Delta\%$			Umidade relativa %	
E1	E2	E3	E1/E2	E3/E2
84,27	75,81	55,46	111,16	73,16
71,19	69,00	51,45	103,17	74,57
66,17	61,15	47,71	108,21	78,02
60,76	51,27	46,57	118,51	90,83
55,12	46,35	45,65	118,92	98,49
50,63	43,78	44,72	115,65	102,15
45,18	42,37	43,41	106,63	102,45
43,46	40,97	42,56	106,08	103,88
42,03	40,18	40,86	104,60	101,69

Tabela 21: Dados do quinto ensaio: variação percentual do teor de umidade dos casulos procedentes das esteiras 1, 2 e 3 durante o quinto ensaio e variação relativa percentual da umidade das amostras das esteiras 1 e 3 em relação a amostra da esteira 2 (base).

Variação percentual do teor de umidade - $\Delta\%$			Umidade relativa %	
E1	E2	E3	E1/E2	E3/E2
81,99	75,08	54,19	109,20	72,18
75,64	65,28	53,33	115,86	81,68
69,20	63,06	51,78	109,74	82,11
61,62	60,71	48,69	101,49	80,20
56,71	58,05	47,33	97,69	81,53
51,38	55,27	46,24	92,97	83,67
47,50	51,12	45,06	92,92	88,14
46,45	47,95	43,47	96,87	90,66
44,61	44,88	42,96	99,41	95,73
42,37	41,13	42,04	103,02	102,22

Tabela 22: Variação percentual acumulada, da umidade dos casulos no secador Yamato, nas esteiras 01, 02, 03 e 10

ESTEIRAS	PERDA ACUMULADA %
01	-19,17
02	-24,48
03	-45,56
10	-59,40

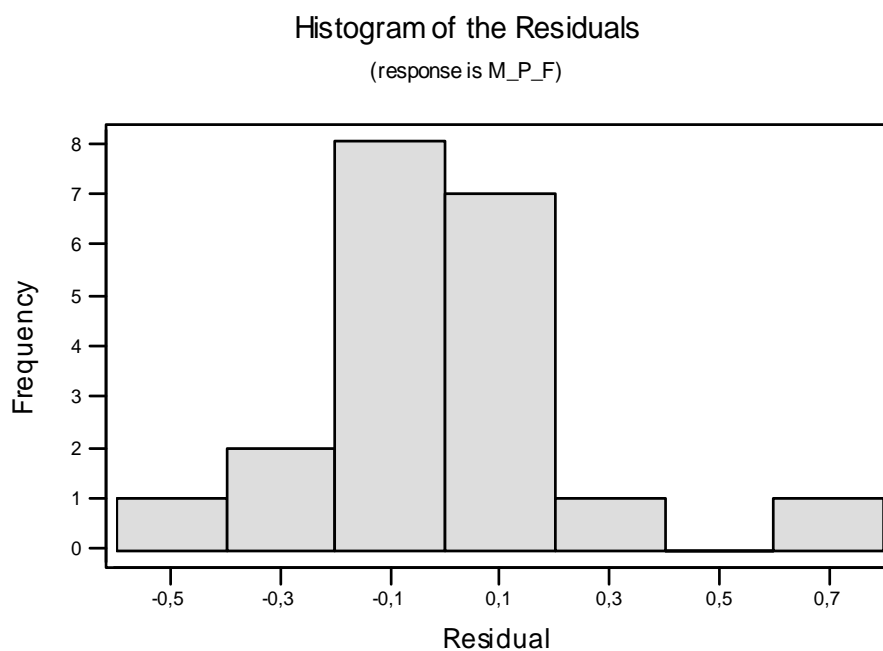


Figura 19: Histograma para os resíduos dos pesos médios do fio

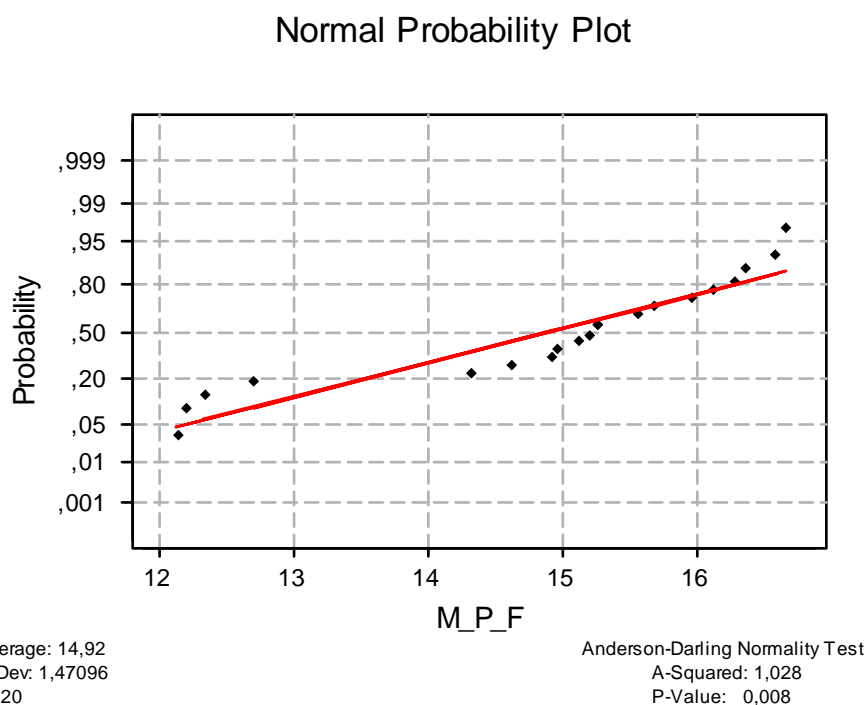


Figura 20: Gráfico para o teste de normalidade do peso médio do fio

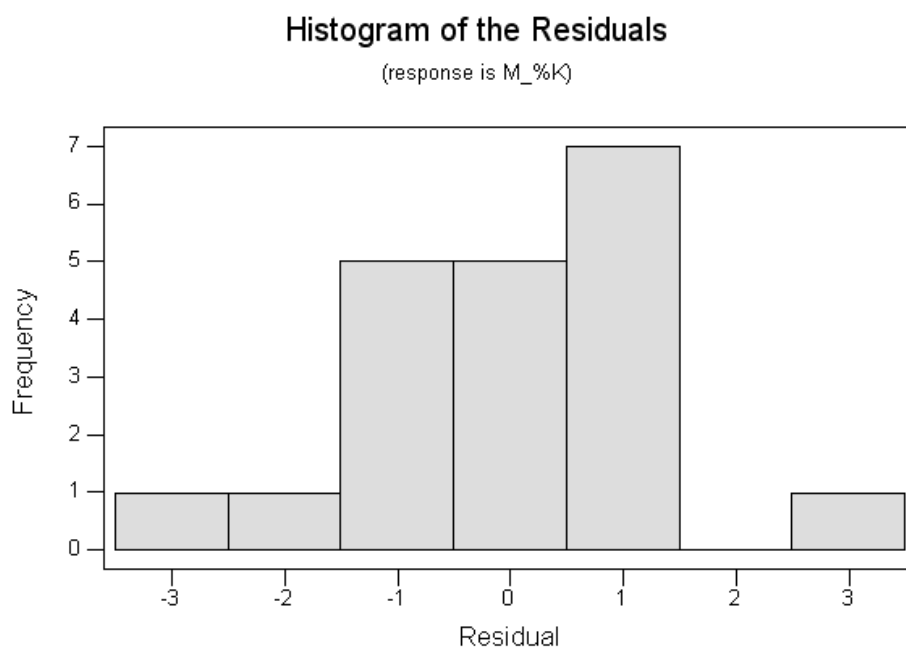


Figura 21: Histograma para os resíduos do teste da porcentagem média de Kaijyo

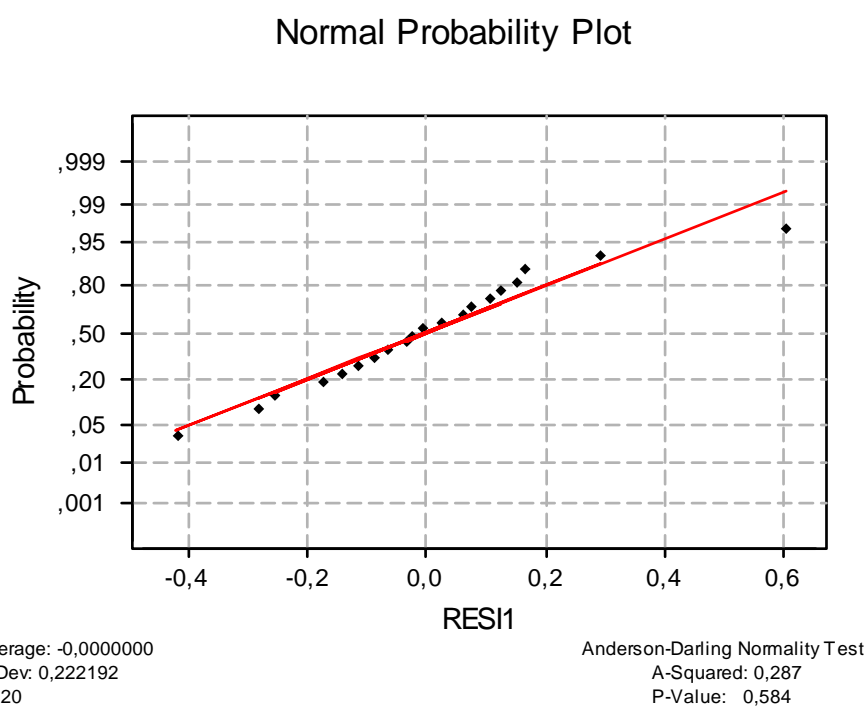


Figura 22. Gráfico para o teste de normalidade dos resíduos do peso médio do fio

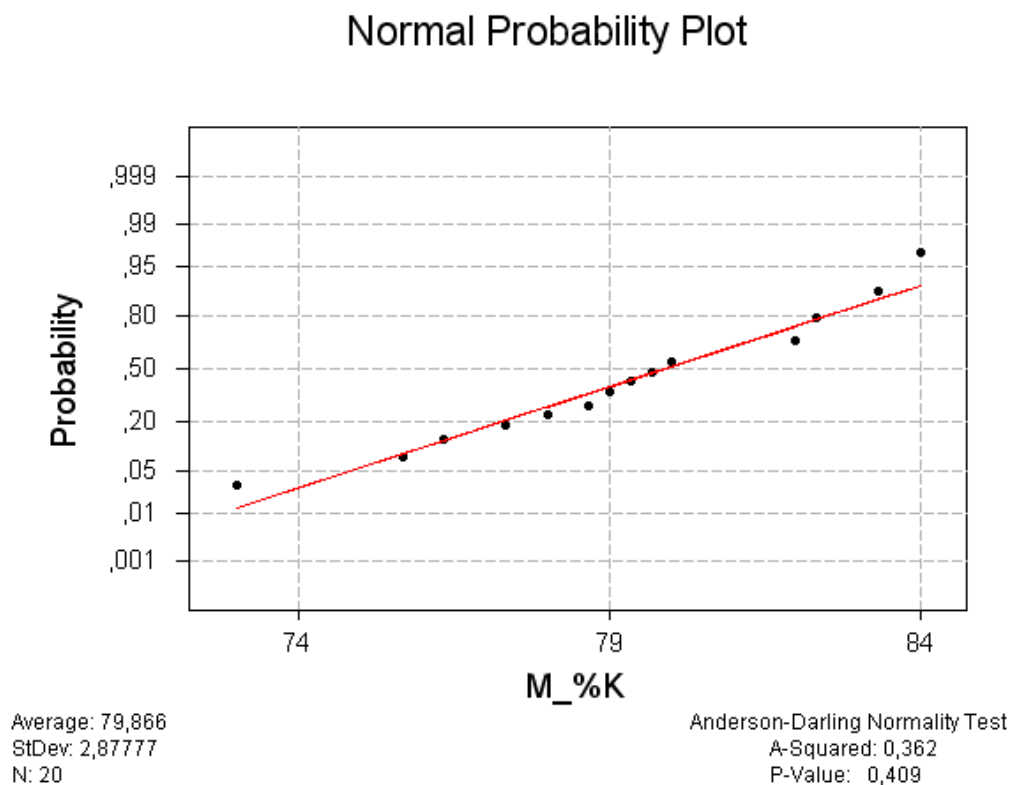


Figura 23. O gráfico para o teste de normalidade do teste da porcentagem média de Kaijyo

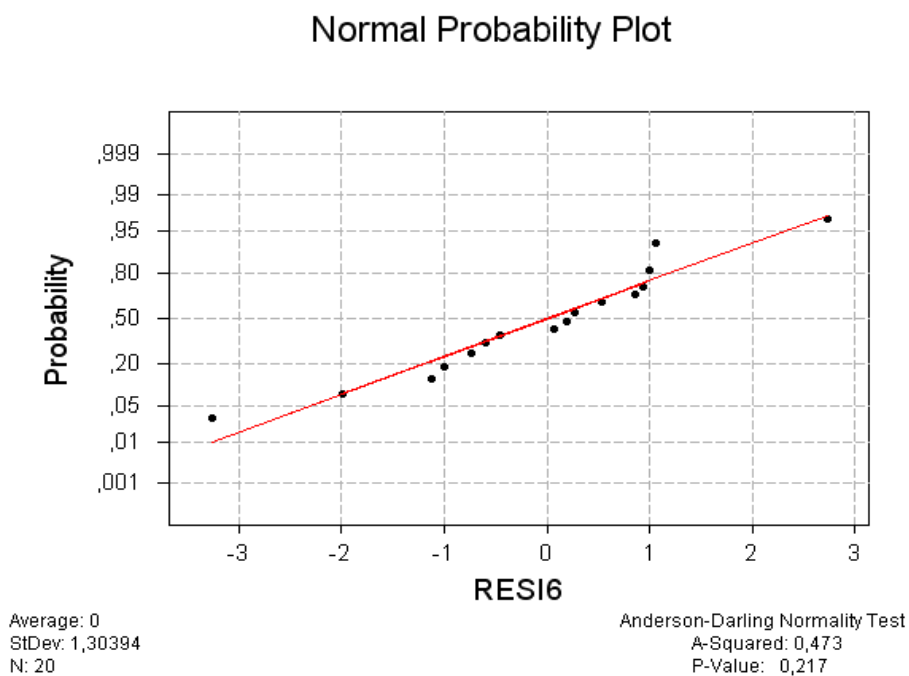


Figura 24: Gráfico para o teste de normalidade dos resíduos do teste de porcentagem média de Kaijyo