

Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção

Doris Zwicker Bucci

**AVALIAÇÃO DE EMBALAGENS DE
PHB (POLI (ÁCIDO 3-
HIDROXIBUTÍRICO)) PARA
ALIMENTOS**

Dissertação de Mestrado

Florianópolis

2003

Doris Zwicker Bucci

**AVALIAÇÃO DE EMBALAGENS DE
PHB (POLI (ÁCIDO 3-
HIDROXIBUTÍRICO)) PARA
ALIMENTOS**

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção da
Universidade Federal de Santa Catarina
como requisito parcial para obtenção
do grau de Mestre em
Engenharia de Produção

Orientadora: Prof. Ingeborg Sell, Dr. rer. nat.

Florianópolis

2003

Ficha Catalográfica elaborada pela

Biblioteca da FURB

Bucci, Doris Zwicker

B918a Avaliação de embalagens de PHB (Poli (Ácido 3 - Hidroxibutírico)) para alimentos / Doris Zwicker Bucci. – 2003.

146p.: il.

Orientador: Ingeborg Sell.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.

1. Alimentos – Embalagens. 2. Plásticos – Aspectos ambientais. 3. Polímeros – Biodegradação. I. Título. II. Sell, Ingeborg. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico.

CDD 668.42

Doris Zwicker Bucci

**AVALIAÇÃO DE EMBALAGENS DE
PHB (POLI (ÁCIDO 3-HIDROXIBUTÍRICO)) PARA
ALIMENTOS**

Esta dissertação foi julgada e aprovada para a
obtenção do grau de **Mestre em Engenharia de Produção** no **Programa de Pós-
Graduação em Engenharia de Produção** da
Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 10 de junho 2003.

Prof. Edson P. Paladini, Dr.
Coordenador do Programa

BANCA EXAMINADORA

Eloísa Elena Corrêa Garcia, Mestre
Gerente Técnico de Embalagens Plásti-
cas e Meio Ambiente do CETEA/ITAL

Prof. Ingeborg Sell, Dr. rer. nat.
Universidade Federal de Santa Catarina
Presidente

Prof. Fernando Antônio Forcellini,
Dr. Eng.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Lorena Benathar Ballod Tavares,
Dr.
Universidade Regional de Blumenau

Agradecimentos

A Deus por acompanhar meus passos.

Ao meu esposo José, meus três filhos, Sandra Eloísa, Guilherme e Carlos Eduardo pela compreensão e apoio para conseguir realizar mais uma etapa de minha vida acadêmica e profissional.

À minha sobrinha Isabel Cristina pela colaboração, apoio e incentivo. A toda minha família pelo apoio e compreensão e principalmente minha irmã Eliane e cunhado Henrique pelo incentivo.

À Universidade Federal de Santa Catarina pela acolhida.

Ao curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção pela contribuição em minha formação acadêmica.

À minha orientadora Profa. Dra. Ingeborg Sell pelo carinho, apoio e dedicação durante a orientação deste trabalho.

À Capes, por promover o progresso científico.

Ao Tio Gehardt pela dedicação e grande auxílio para realização dos testes de biodegradação e também a Dalva e toda a equipe do Tratamento de Esgoto do Samae de Blumenau.

Às minhas amigas Vera Lúcia Nogueira e Júlia Amaral pelo auxílio, apoio e incentivo.

À PHB Industrial (Usina da Pedra) que acreditou em mim e me apoiou através da doação do polímero para realização deste trabalho. Ao Sylvio Ortega e Enga. Sônia pela atenção e desprendimento no esclarecimento de dúvidas. Em especial ao Eng. Jefter Nascimento pelas informações técnicas e acompanhamento nos testes de injeção das amostras.

À Plasvale que permitiu a injeção de amostras em suas instalações fabris, e a toda sua equipe técnica, ao José Renato, e em especial, ao Fernando pelo auxílio e informações prestadas.

A Eloísa Elena Corrêa Garcia do CETA/ITAL pelas orientações.

Aos departamentos de Engenharia Química e Química da FURB pelo apoio durante a realização deste trabalho. Ao Acadêmico Vinícius e às Professoras Deyse e Morgana pelo auxílio no desenvolvimento deste trabalho, também em especial a Prof^ª. Lorena pela colaboração, apoio, carinho e incentivo.

À equipe do Laboratório de Controle de Qualidade da Cremer Divisão Adesivos e, em especial, ao auxílio recebido do Jairo para a realização dos testes de Compressão Dinâmica.

Ao Almir Silva do Senai pelo auxílio prestado e também ao Daivyn Possamai pelo auxílio na formatação deste texto.

A todos que de forma direta ou indireta me auxiliaram na realização deste trabalho.

Resumo

BUCCI, Doris Zwicker. **Avaliação de Embalagens de PHB (Poli (Ácido 3-Hidroxibutírico)) para Alimentos**. 2003. 146f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

Os polímeros plásticos, devido às suas características, são amplamente utilizados nas mais diversas aplicações, inclusive para embalagens de alimentos. No entanto, devido à sua dificuldade de degradação e à exaustão das reservas mundiais de petróleo, o uso de polímeros constitui um problema ambiental significativo. Daí, decorre a necessidade urgente de substituí-los por bioplásticos, obtidos a partir de recursos naturais renováveis, que se degradam na natureza em ambientes biologicamente ativos em curto espaço de tempo. Um dos bioplásticos utilizáveis para este fim é o PHB (Poli (Ácido 3-Hidroxibutírico)) que é derivado da cana de açúcar.

Neste trabalho estudou-se a possibilidade de uso do plástico PHB em embalagens para alimentos. Partiu-se do polímero para a obtenção de embalagens através do processo de injeção. Avaliou-se o desempenho delas através de testes *dimensionais* (dimensões, capacidade volumétrica, peso e espessura), *mecânicos* (compressão dinâmica e resistência ao impacto), e *físicos* (transmissão de luz), sempre comparando-as com embalagens de PP (polipropileno) injetadas no mesmo molde. Além disso, realizou-se inspeção visual, relacionando a aparência das embalagens com o desempenho do polímero no processo produtivo; potencial de contaminação organoléptica com alguns alimentos; e um teste de biodegradação em diferentes meios.

Os resultados finais mostraram que:

- 1) as diferenças nas características mecânicas dos dois polímeros não inviabilizam o uso do PHB para as mesmas aplicações do PP;
- 2) as características dimensionais do PHB foram negativamente influenciadas pelo processo de injeção e molde de PP;
- 3) o PHB oferece boa barreira à transmissão de luz, dispensando o uso de pigmentos e absorvedores de UV para proteção de alimentos facilmente oxidáveis;

4) o PHB é biodegradado em até 90 dias em meios em que há uma atividade microbiana própria, como a compostagem de lixo orgânico e fossa séptica.

No geral, pôde-se concluir que o PHB pode substituir o PP e outros polímeros sintéticos em embalagens para acondicionamento de alimentos como margarina, maionese e requeijão.

Palavras chave: Biodegradação; Bioplásticos; Embalagens para alimentos; Produto ambientalmente correto; PHB

Abstract

BUCCI, Doris Zwicker. **Evaluation of PHB (Poly (3-Hydroxybutyrate)) for food packaging**. 2003. 146f. Thesis (Master's Degree in Production Engineering) – Post-Graduation Program in Production Engineering, UFSC, Florianópolis.

The polymers, due to their features, are largely used for different applications and also for food packaging. However, due to their difficult degradation and the exhaustion of the world petroleum reserves, the use of polymers brings significant environmental problems. Therefore, it is necessary to replace them for bioplastics, obtained from renewable natural sources, that degrade in a short time when exposed to biologically active environment. One example of bioplastics is the PHB (Poly (3-hydroxybutyrate)) deriving from sugar cane.

The possibility of the use of PHB in food packaging was studied in the present work. The polymer, through the injection process, was used for packages manufacturing. The packages performance was evaluated by means of dimensional tests (dimensions, volumetric capacity, weight and thickness), mechanic tests (dynamic compression and impact resistance) and physical tests (light transmission), comparing them with PP (polypropylene) packages of equal format. Besides, visual inspection tests, relating the appearance of the packages with the polymer performance in the productive process; potential of organoleptic contamination with some types of food and biodegradation test in different environment were carried out.

The final results have shown that:

- 1) The different mechanic features of the two polymers did not make the use of PHB for the same applications of PP impossible;
- 2) The dimensional features of PHB were negatively influenced by the injection and moulding process of PP;
- 3) PHB, offers a good barrier to light transmission and does not require the use of pigments and UV absorbent for the protection of food which is easily oxidised;

- 4) PHB degrades in 90 days in environment with microbial growth such as organic waste composting and septic tank.

All in all, PHB can replace PP and other synthetic polymers in packages for storing margarine, mayonnaise and cream cheese.

Keywords: biodegradation; bioplastics, food package; environmentally friendly products; PHB (Poly (3-Hydroxybutyrate)).

Sumário

Lista de Anexos	xi
Lista de Figuras	xii
Lista de Quadros	xiv
Lista de Tabelas	xv
Lista de Gráficos	xvi
Lista de abreviaturas, siglas e símbolos	xvii

1 INTRODUÇÃO

1.1 A Problemática do Resíduo Sólido Causado por Embalagens Plásticas	1
1.1.1 Aspectos históricos de embalagens para alimentos	1
1.1.2. Visão atual: embalagens.....	2
1.1.3 Impactos ambientais ocasionados por embalagens plásticas	4
1.1.4 Aspectos importantes a serem considerados na redução dos resíduos sólidos provenientes de embalagens	6
1.2 Objetivos	8
1.2.1 Objetivo geral	8
1.2.2 Objetivos específicos	8
1.3 Relevância	9

2 EMBALAGENS PARA ALIMENTOS VERSUS MEIO AMBIENTE

2.1 Alternativas para a Redução do Resíduo Sólido Causado por Embalagens Sintéticas	10
2.1.1 Evitar	11
2.1.2 Reduzir	12
2.1.3 Reciclar	13
2.1.4 Tratar	16
2.1.5 Aterrar	18
2.2 Embalagens de Material Biodegradável	18
2.2.1 Classificação de biopolímeros	19
2.2.2 Polihidroxialcanoatos – PHAs	20
2.2.3 Exemplos de usos de embalagens biodegradáveis	27
2.3 Algumas Características Importantes para a Seleção de Materiais de Embalagens para Alimentos	30
2.3.1 Algumas das principais propriedades a serem avaliadas na escolha adequada de embalagens plásticas rígidas para alimentos	31

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais	43
3.1.1 PHB (Poli (ácido 3-hidróxibutírico))	43

3.1.2 Potes de PHB com tampas	44
3.2 Métodos para Avaliar Embalagens de PHB para Alimentos (tabela resumo)	47
3.2.1 Caracterização dimensional	49
3.2.2 Avaliação das propriedades mecânicas.....	51
3.2.3 Avaliação física	53
3.2.4 Avaliação da interação produto-embalagem	54
3.3 Testes de Biodegradação	58
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	
4.1 Produção de PHB (Poli (ácido 3-hidróxibutírico)) e de Embalagens	63
4.2 Avaliação de Embalagens de PHB para uso em Alimentos	65
4.2.1 Caracterização dimensional	65
4.2.2 Avaliação das propriedades mecânicas	70
4.2.3 Avaliação física	75
4.2.4 Avaliação da interação produto e embalagem.....	81
4.3 Testes de Biodegradação	82
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	90
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
7 BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR	98
Anexo I	101
Anexo II	102
Anexo III	109
Anexo IV	111
Anexo V	124
Anexo VI	126
Anexo VII	128
Anexo VIII	129
Anexo IX	130
Anexo X	138

Lista de anexos

Anexo I	101
Anexo II	102
Anexo III	109
Anexo IV	111
Anexo V	124
Anexo VI	126
Anexo VII	128
Anexo VIII	129
Anexo IX	130
Anexo X	138

Lista de figuras

Figura 1.1: Ciclo de vida do produto	3
Figura 1.2: O Ciclo de vida da embalagem	4
Figura 1.3: Consumo de embalagem por tipo de material	5
Figura 2.1: Representação da hierarquia da minimização do resíduo sólido urbano	10
Figura 2.2: Simbologia brasileira de identificação de materiais	14
Figura 2.3: Fórmula estrutural geral dos Polihidroxialcanoatos – PHAs	20
Figura 2.4: Fórmula estrutural do (a) ácido 3-hidróxibutírico e (b) PHB (Poli (ácido 3-hidróxibutírico))	22
Figura 2.5: Processo de produção do Poli (ácido 3-hidroxibutírico) - PHB	23
Figura 2.6: Planta piloto da Usina da Pedra – açúcar e álcool	26
Figura 2.7: Embalagem de bombom com filme NatureWorks produzido a partir do milho.....	28
Figura 2.8: Recipientes de amido produzidos a partir do amido da mandioca...	28
Figura 2.9: Garrafas de PHB em processo de biodegradação.....	29
Figura 2.10: Barreira de luz conferida por diferentes tipos de embalagens: a) PET padrão, b) PET com absorvedor de UV, c) PET âmbar	37
Figura 2.11: Representação esquemática dos efeitos que ocorrem com um feixe de luz ao incidir sobre uma superfície metálica	37
Figura 2.12: Ciclo da biodegradação de um material de fonte renovável e biodegradável	40
Figura 3.1: Referência 331	45
Figura 3.2: Vista da injetora que produziu o pote	46
Figura 3.3: Pote e tampa de PHB pigmentado e natural	47
Figura 3.4: Pote de PHB natural	47
Figura 3.5: Pote de PHB pigmentado	47
Figura 3.6: Amostras dos potes de PHB natural, pigmentado e de PP.....	48
Figura 3.7: Dimensões internas de pote e tampa	49
Figura 3.8: Indicação das regiões onde foram medidas as espessuras do pote	50
Figura 3.9: Rótulo da margarina usada na análise sensorial	55
Figura 3.10: Rótulo da maionese usada na análise sensorial	55
Figura 3.11: Rótulo do requeijão usado na análise sensorial	56
Figura 3.12: Vista do local dos Meios II,III e IV	60
Figura 3.13: Local do Meio V – lodo do Meio de esgoto	60
Figura 3.14: Local do Meio VI – margens do Ribeirão Garcia	61
Figura 3.15: Local do Meio VII – caixa de gordura da cantina da FURB.....	61
Figura 4.1: Vista da abertura do molde e extração do pote	64
Figura 4.2: Compressão do pote PHB natural	71
Figura 4.3: Compressão do pote PHB pigmentado	71
Figura 4.4: Compressão do pote PP	71

Figura 4.5: Potes de PHB natural após impacto	74
Figura 4.7: Tempo zero	87
Figura 4.8: Meio I – Água potável, 30 dias	87
Figura 4.9: Meio I – Água potável, 180 dias	87
Figura 4.10: Meio II – Esterco, 30 dias	87
Figura 4.11: Meio II – Esterco, 180 dias	87
Figura 4.12: Meio III – Resíduos domésticos, 30 dias	87
Figura 4.13: Meio III – Resíduos domésticos, 60 dias	87
Figura 4.14: Meio IV – Terra de jardim, 30 dias	88
Figura 4.15: Meio IV – Terra de jardim, 180 dias	88
Figura 4.16: Meio V – Lodo, 30 dias	88
Figura 4.17: Meio V – Lodo, 180 dias	88
Figura 4.18: Meio VI – Água de rio, 30 dias	88
Figura 4.19: Meio VI – Água de rio, 180 dias	88
Figura 4.20: Meio VII – Caixa de gordura, 30 dias	88
Figura 4.21: Meio VII – Caixa de gordura, 180 dias	88
Figura 4.22: Meio VIII – Fossa séptica, 30 dias	89
Figura 4.23: Meio VIII – Fossa séptica, 60 dias	89

Lista de quadros

Quadro 3.1: Dados das injetoras utilizadas para o teste de injeção de embalagens de PHB	45
Quadro 3.2: Resumo dos ensaios realizados com as embalagens de PHB e de PP	48
Quadro 3.3: Identificação dos meios em que foram realizados os testes de biodegradação das amostras de PHB natural	59
Quadro 4.1: Análise sensorial teste triangular expandido de quatro simulantes após contato com o pote de PHB.....	82

Lista de tabelas

Tabela 1.1: Distritos com serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo, por unidades de destinação final do lixo coletado, segundo as grandes regiões, unidades da federação, regiões metropolitanas e municípios das capitais – 2000	6
Tabela 2.1: Coeficientes técnicos do processo de biossíntese por fermentação aeróbica Copersucar – Usina da Pedra	25
Tabela 2.2: Descritivo de projeto para produção de PHB pela Copersucar – Usina da Pedra	26
Tabela 3.1: Certificado de análise de lotes diferentes da resina PHB	43
Tabela 3.2: Valores de propriedades físicas e mecânicas dos de lotes do Poli (ácido 3-hidroxi-butírico) PHB comparadas ao PP	44
Tabela 3.3: Condições de injeção comparativas entre PHB e PP	46
Tabela 3.4: Ciclo de injeção dos potes e tampas em PHB e PP.....	46
Tabela 4.1: Distribuição da espessura em regiões do pote	66
Tabela 4.2: Distribuição da espessura em regiões da tampa	66
Tabela 4.3: Capacidade volumétrica total das amostras de pote/ml a 22°C	69
Tabela 4.4: Testes de resistência à compressão dinâmica das amostras acondicionadas em diferentes temperaturas e condições	72
Tabela 4.5: Resultados dos testes ao impacto por queda livre a partir de 1,5 m de altura	75
Tabela 4.6: Incidência de defeito nas amostras	76
Tabela 4.7: Classificação dos defeitos identificados nos potes e tampas de PHB natural	76
Tabela 4.8: Classificação dos defeitos identificados nos potes e tampas de PHB pigmentado	76
Tabela 4.9: Média dos ensaios de transmissão de luz	80
Tabela 4.10: Média da perda de massa das cinco amostras nos oito diferentes meios	83
Tabela 4.11: Média da percentagem de biodegradação em oito diferentes meios das cinco amostras	83

Lista de gráficos

Gráfico 4.1: Dimensões interna dos potes	65
Gráfico 4.2: Média da espessura em regiões do pote	67
Gráfico 4.3: Determinação de espessura em regiões da tampa	67
Gráfico 4.4: Comparativo de massa	68
Gráfico 4.5: Capacidade volumétrica dos potes	69
Gráfico 4.6: Média das varreduras de 250-750nm de PHB natural e PHB pigmentado	79
Gráfico: 4.7: Média das varreduras de 250-750nm de PP	80
Gráfico 4.8: Comparação da média de perda de massa das amostras em cada meio	83

Lista de abreviaturas, siglas e símbolos

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANOVA	Análise de Variância
ASTM	American Society for Testing and Materials
CETEA	Centro de Tecnologia de Embalagem
COPERSUCAR	Cooperativa dos Produtores de Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo
DfE	Design for Environment
Da	Dalton
EVOH	Copolímero de etileno e álcool vinílico
FDA	Food and Drug Administration
FURB	Fundação Universidade Regional de Blumenau
HB	Hidroxi-butirato
HV	Hidroxi-valerato
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF	International Dairy Federation
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo
ITAL	Instituto de Tecnologia de Alimentos
IPA	Instituto de Pesquisas Ambientais - FURB
kgf	Quilograma Força
LSD	Diferença Mínima Significativa
N	Newton
NBR	Norma Brasileira
NQA	Nível de Qualidade Aceitável
nm	Nanômetro
mm	Milímetros
ml	Mililitros
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
PA	Poliamida
pH	Potencial hidrogeniônico
pHs	Potenciais hidrogeniônicos

PEAD	Polietileno de alta densidade
PEBD	Polietileno de baixa densidade
PET	Polietileno Tereftalato
PHAs	Polihidroxicanoatos
PHB	Poli (ácido 3-hidroxibutírico) ou poli-hidroxitirato
PHBV	Copolímero de Poli (ácido 3-hidroxibutírico- co-hidroxicvalérico)
PHB N	Poli (ácido 3-hidroxibutírico) natural
PHB P	Poli (ácido 3-hidroxibutírico) pigmentado
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PVA	Poliálcool vinílico
PVC	Policloreto de vinila
PVDC	Copolímeros de Cloreto de vinilideno e cloreto de vinila
UR	Umidade Relativa
UV	Ultravioleta
TE	Transmitância Especular
TiO₂	Dióxido de Titânio
SAC	Serviço de Atendimento ao Consumidor
SAMAE/BL	Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto/Blumenau

1 INTRODUÇÃO

1.1 A Problemática do Resíduo Sólido Causado por Embalagens Plásticas

1.1.1 Aspectos históricos de embalagens para alimentos

As primeiras embalagens de alimentos surgiram há mais de 10.000 anos e serviam como recipientes para beber e estocar, utilizando-se conchas do mar e cascas de coco. Com o decorrer do tempo, e, aprimoramento de habilidades manuais, o homem produziu tigelas de madeira, cestos de fibras naturais, bolsas de peles de animais e potes de barro. Os potes de barro já auxiliavam a preservar os grãos contra a umidade. Por volta do primeiro século depois de Cristo, o vidro começou a ser soprado por artesões sírios, produzindo utensílios de diversos formatos, espessuras e tamanhos. O vidro então começou a ser amplamente utilizado para guardar alimentos, por ser impermeável e ao mesmo tempo transparente. Embora o surgimento dos metais como cobre e ferro tenha ocorrido na mesma época da cerâmica de barro, tornaram-se mais importantes apenas em tempos modernos. No século XIX, com a fabricação industrial de papel, ele deixou de ser somente utilizado para escrita e desempenhou um papel importante para proteger e embrulhar alimentos. Por volta de 1920 surgiu o celofane, um filme transparente e flexível, que foi muito utilizado para proteger os alimentos e ao mesmo tempo aumentar o seu tempo de vida útil.

Após a Segunda Guerra Mundial, a vida moderna conheceu elementos novos, um deles o supermercado, que estabeleceu padrões visuais da embalagem tal como se conhece hoje (MESTRINER, 2002). Surge então a necessidade de novas embalagens, principalmente para alimentos, fáceis de manusear, estocar, empilhar, transportar, comunicar e proteger (ROBERTSON, 1993). Nessa mudança de hábitos surge a embalagem plástica, a partir de várias resinas com características diferentes, derivadas do petróleo, como o polietileno, poliéster, polipropileno, etc.

Os materiais plásticos para embalagem surgiram em substituição aos materiais tradicionais como o vidro, folha de flandres, alumínio ou mesmo o papel, devido, principalmente, à sua facilidade de moldar, inovar, baixo custo e facilidade de manu-

seio. As embalagens plásticas para alimentos, apesar de terem algumas limitações quanto à barreira a gases, baixa resistência à deformação, ao impacto e transmissão de luz, vêm se superando ao longo do tempo. Essas limitações têm diminuído com o uso de novas resinas, tecnologias e equipamentos no processamento das embalagens e dos alimentos. Tem-se como exemplo a resina PET (Polietileno Tereftalato), entre as mais utilizadas em embalagens para alimentos e com uma demanda crescente, principalmente para garrafas de refrigerantes e óleos comestíveis. Traz a vantagem de ser transparente e de ótima resistência mecânica, podendo ser moldada em vários processos. Os filmes plásticos flexíveis, por sua vez, são muito utilizados em sacarias, lacres encolhíveis, embalagens secundárias em substituição à caixa de papelão e terciárias como no caso de envolvimento de paletes, etc. Já os filmes flexíveis de multicamadas ganham ampla aplicação em embalagens de alimentos que exigem barreiras e maior tempo de vida de prateleira. Aqui pode-se citar as resinas de PVDC (copolímero de cloreto de vinilideno), PA (poliamida), EVOH (copolímero de etileno e álcool vinílico), etc. Os materiais compostos revestidos de filmes plásticos têm surgido em diversas aplicações como para alimentos processados, próprios para serem aquecidos em microondas.

1.1.2 Visão atual: embalagens

O homem, ao longo de sua história, tem mostrado uma necessidade crescente no uso de embalagens. Na área de alimentos elas se aplicam, essencialmente, para seu transporte e conservação. Vive-se num mundo de produtos embalados sendo que, muito freqüentemente, a venda se efetua através do apelo da embalagem, ao invés do produto em si. Os dois, produto e embalagem, estão inter-relacionados e fica muito difícil de se imaginar um sem o outro (MOURA e BANZATO, 1990).

Na atualidade, com a economia globalizada, os produtos são concebidos junto com suas respectivas embalagens. Devido à necessidade de se inovar produtos com grande freqüência, além da relevante exigência em qualidade, eles têm um

ciclo de vida muito curto. A fig. 1.1 mostra o percurso do Alimento, seu ciclo de vida desde a produção até o seu descarte no lixo.

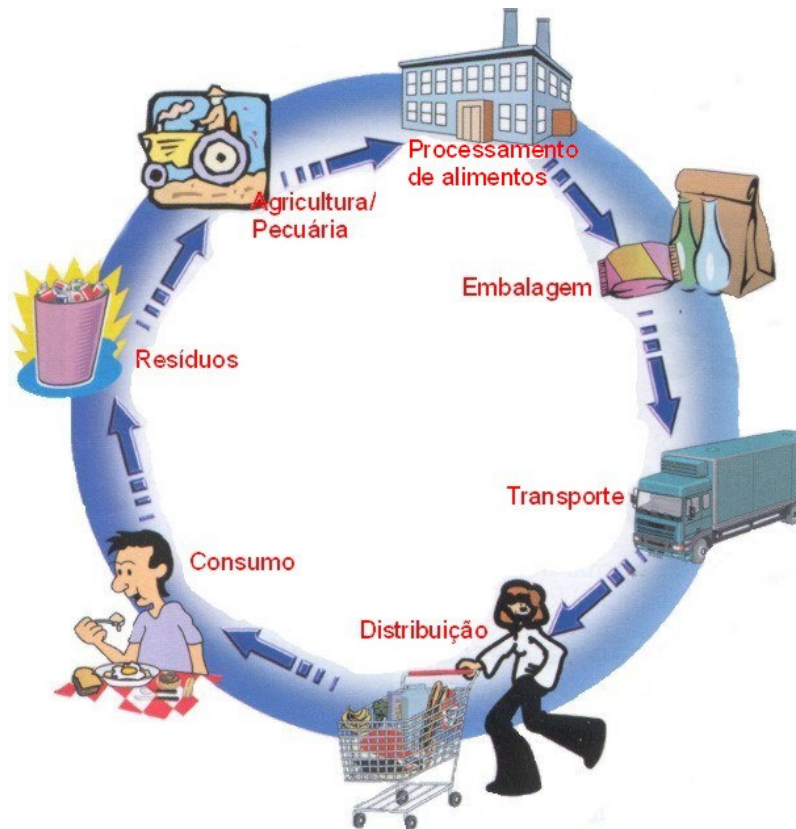


Figura 1.1: Ciclo de Vida do Alimento

Neste sentido, as empresas modernas necessitam ter uma visão multidisciplinar e consultar áreas não só como engenharia, marketing, *design*, leis, qualidade, sac (serviço de atendimento ao consumidor), qualidade, produção, logística, vendas, meio ambiente, etc. para conceber produtos que atendam às necessidades de toda cadeia. Uma das estratégias para que as empresas se tornem competitivas e se mantenham no mercado, é a necessidade de produção de grandes volumes e baixos custos. A embalagem vem ao encontro dessa estratégia, pois sendo ela a vendedora silenciosa, é um instrumento para alavancar vendas, além de contribuir para o sucesso da Empresa e sua conseqüente permanência no mercado. Já para o consumidor de varejo, a embalagem é símbolo do mundo moderno, do consumismo, da praticidade, da conveniência, do conforto, da facilidade de conservar alimentos e do desejo de posse. Mas é fundamental, acima de tudo, que a embalagem seja ambien-

talmente correta em todo seu ciclo de vida (PAINE, 1996). A fig. 1.2 mostra o ciclo de vida da embalagem.

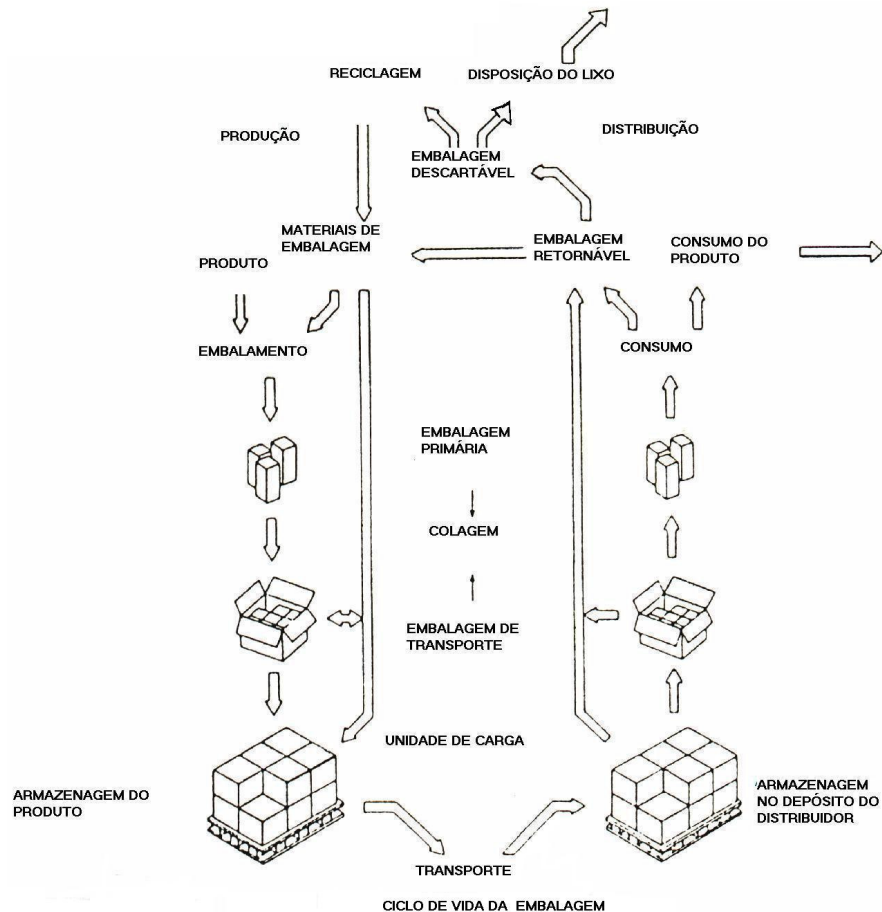


Figura 1.2 : O Ciclo de Vida da Embalagem
Fonte: PAINE, F. (1996).

1.1.3 Impactos ambientais ocasionados por embalagens plásticas

Aproximadamente 140 milhões de toneladas de plásticos, derivados do petróleo, são produzidos anualmente em todo mundo (SHIMAO, 2001). A produção nacional em 2002 foi de aproximadamente 3,98 milhões de toneladas, do que 49-51 % destinou-se para a indústria de embalagens (EMBALAGENS..., 2003). Estes polímeros são extremamente estáveis e não entrarão de imediato no ciclo de degradação da biosfera e podem permanecer intactos por longo tempo (SAVENKOVA, 2000; SHIMAO, 2001). Outro aspecto negativo destes polímeros é que eles formam uma camada impermeabilizante que dificulta a circulação de gases e líquidos nos lixões que agilizam a decomposição do lixo (KARNIOL, 2002).

No entanto, fica difícil de se imaginar a vida moderna sem o uso de embalagens plásticas para alimentos. Elas são usadas em 80% dos alimentos pré-preparados e conservados em embalagens (CURTE, 2002). Por outro lado, são elas que sobram do consumo, após o uso do produto, sendo descartadas, gerando enormes quantidades de resíduos, ou seja, o lixo para o meio ambiente. No Brasil, do total despejado, 19 % são plásticos (SOTERO, 2000). O crescimento populacional e econômico gera como conseqüências e problemas, a demanda por embalagens e o aumento do volume de lixo na maioria dos países, principalmente nos ocidentais.

Segundo dados estatísticos (SOTERO, 2000), só no Brasil, são despejados de 240 a 300 mil toneladas diárias de resíduos urbanos no meio ambiente, dos quais 100 mil toneladas são resíduos domésticos, conforme a estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Desses resíduos domésticos, 60 a 65% são restos alimentares e 25 a 30% são embalagens. Essa montanha de sacos, caixas, garrafas, latas, entre outros, colabora para a superlotação dos aterros e lixões, para a sujeira de ruas e rios. A fig. 1.3 mostra que a grande maioria das embalagens consumidas no Brasil são plásticas.

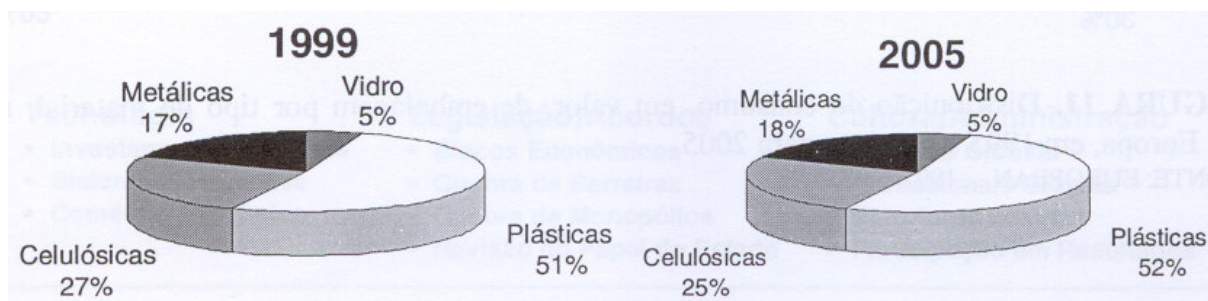


Figura 1.3 : Consumo de Embalagens por Tipo de Material

Fonte: DATAMARK, 1999, apud BRASIL ..., 2000

A situação atual do resíduo sólido no Brasil é crítica, principalmente nos municípios do interior. De acordo com o censo do IBGE de 2000, 79 % da população de grandes metrópoles ou capitais do país tem o lixo coletado pela limpeza pública, o restante é queimado, sem controle, ou jogado a céu aberto. Do total de lixo coletado, 72 % são depositados em lixões, sem controle de poluição ou preocupação com a população vizinha. Deste total coletado, a compostagem de resíduos orgânicos é em torno de 3%. Isto significa dizer que apenas 28 % deste lixo recebe um tratamento adequado. A tabela 1.1 detalha melhor essa situação.

Tabela 1.1: Distritos com serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo, por unidades de destinação final do lixo coletado, segundo as grandes regiões, unidades da federação, regiões metropolitanas e municípios das capitais – 2000.

	Total	Lixão	Áreas alagadas	Aterro Controlado	Aterro Sanitário	Aterro de resíduos especiais	Usina de Compostagem	Usina de Reciclagem	Incineração
Brasil	8 381	5 993	63	1 868	1 452	810	260	596	325

Fonte adaptado IBGE: http://www.ibge.net/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/lixo_coletado/lixo_coletado109.shtm

O que fazer com tanto lixo? Convém considerar também que a matéria prima e energia para produção dos plásticos são oriundos do petróleo, que gera impacto ambiental para sua exploração, e suas reservas mundiais estão em exaustão. O uso do petróleo como energia gera gases tóxicos para o meio, e que também contribuem para o efeito estufa. As embalagens quando descartadas na natureza geram poluição visível, permanecendo intactos por centenas de anos. No entanto, reduzir o impacto ambiental causado pela embalagem é um desafio a ser atingido, principalmente no Brasil, onde existe grande deficiência em nível de coleta de lixo, reciclagem, incineração, bem como o próprio desperdício de material no momento do projeto da embalagem. Sistemas de reciclagem contemplam principalmente os materiais de maior interesse econômico, sendo a coleta deles uma opção de sobrevivência para pobres e desempregados.

Outro aspecto muito importante na atualidade, segundo Madi apud Stein (1997), é que se projetem embalagens já com a preocupação de seu descarte, quando não executarem mais a função para a qual foram projetadas.

1.1.4. Aspectos importantes a serem considerados na redução dos resíduos sólidos provenientes de embalagens

O Brasil, como os demais países do mundo, está procurando soluções para a questão do resíduo sólido causado por embalagens. É evidente que a preocupação acerca de aspectos ambientais em países industrializados é bem maior do que em países em desenvolvimento como o Brasil. Os países industrializados sofrem pressões por parte da população que é mais consciente, de partidos ambientais muito fortes e com taxações ou proibições de certos tipos de embalagens. Outro aspecto a ser considerado nas sociedades ricas, é que a quantidade de resíduo sólido gerado

é muita alta, tornando premente a necessidade de tratamento adequado destes resíduos.

Na verdade, aqui no Brasil também já estão ocorrendo pressões para que as empresas estabeleçam diferenciais ambientais em seus produtos e processos. Um exemplo disso, no que tangem às embalagens, deu entrada no Congresso Nacional um projeto de lei em 2001, que passa a responsabilidade de 100% à indústria pela coleta das embalagens descartadas no lixo urbano. Infelizmente a aprovação desse projeto deverá ser adiada em função de seu relator não ter sido reeleito em 2002. (VILHENA, 2002).

“A embalagem do futuro será aquela que conseguir satisfazer o consumidor com o menor consumo de recursos de materiais, menor nível de agressão ao meio ambiente e custo compatível com seus benefícios e vantagens, ou seja, todas estas questões e outras [...] devem ser muito bem pensadas, pois delas dependerá o sucesso do produto no planejamento e projeto de embalagens” (STEIN, 1997, p.5).

A indústria brasileira de embalagens, para continuar sendo competitiva e se manter no mercado, está, aos poucos, se adequando à nova realidade do modelo internacional. Os participantes do sistema deverão dar sua contribuição como Governo, Setor Privado, Entidades Setoriais, Centros de Pesquisa e Desenvolvimento e Universidades. Cabe, portanto, também ao projetista de embalagens esta importante tarefa de incorporar a variável ambiental dentro de seus projetos de desenvolvimento. Deverá haver maior interesse e informação por parte desse na busca de matérias primas e processos mais adequados. A eco concepção de produtos, DfE (Design for Environment) deverá ser incorporado dentro do processo de desenvolvimento de embalagens e, conforme coloca Garcia (2000), é a visão sistêmica de desenvolvimento de produto, buscando minimizar os impactos sobre o Meio Ambiente em todas as etapas do seu ciclo de vida.

A substituição de materiais plásticos convencionais por biodegradáveis na fabricação de embalagens para alimentos, passa a ser uma solução para se diminuir o volume de resíduos. Estes materiais, por exemplo, o PHB (Poli (ácido 3- hidroxibutírico)), degrada-se completamente pelo ataque microbiano (fungos, bactérias e enzimas) em curto espaço de tempo, sob condições apropriadas do meio ambiente. A utilização do PHB na fabricação de embalagens poderá contribuir para este novo

conceito de embalagens ambientalmente mais corretas. Este plástico, desenvolvido no Brasil pela Copersucar (Cooperativa dos Produtores de Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo) e IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo), obtido da cana de açúcar pode ser utilizado em processos de injeção e termoformagem.

A alternativa de produção biotecnológica deste produto, empregando recursos renováveis, é muito interessante principalmente em situações onde a matéria-prima para o processo fermentativo esteja disponível a um custo reduzido. Partindo-se de açúcar de cana, a síntese fermentativa de PHB, a extração e purificação com solventes naturais, a moldagem do produto final, o descarte, a compostagem e o retorno do composto ao campo representam um ciclo completo, permitindo classificar o PHB como produto natural, com característica única entre os termoplásticos (NASCIMENTO, 2001).

Diante do exposto, o presente trabalho se propõe a estudar a possibilidade de usar PHB na fabricação de embalagens para alimentos, como alternativa para a redução de resíduos sólidos causados pelas embalagens plásticas sintéticas. Para isso, é necessário verificar se as embalagens, feitas deste material atendem, aos requisitos que embalagens para alimentos devem atender.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral:

- estudar a possibilidade de uso de PHB em embalagens para alimentos;

1.2.2 Objetivos específicos:

- produzir embalagens de PHB (pote e tampa) através do processo de injeção;
- avaliar o desempenho das embalagens de PHB comparando-as com embalagens de PP (polipropileno) de igual formato, nas seguintes características:

- a) dimensionais (comprimento, largura, capacidade volumétrica, peso¹ e distribuição de espessura;
- b) mecânicas;
- c) transmissão de luz.
 - avaliar aspectos de aparência da embalagem;
 - avaliar a interação das embalagens de PHB com alguns alimentos;
 - avaliar a taxa de biodegradação.

1.3 Relevância

A relevância dessa pesquisa reside no fato de se tentar contribuir para substituição de embalagens de plásticos sintéticos, produzidos a partir de um recurso natural não renovável e com exaustão previsível, por embalagens de bioplástico, produzido a partir de um recurso renovável e que pode ser produzido no Brasil, inclusive gerando empregos no campo. Desta forma, pode-se obter mais independência do mercado mundial de petróleo e dos preços oscilantes deste. Além disso, a biodegradabilidade do bioplástico vai contribuir, grandemente, para a redução do volume de resíduos sólidos que ficam acumulados durante muito tempo em aterros controlados ou não.

Poucas pesquisas e publicações existem na área de materiais bioplásticos para uso em embalagens de alimentos. Espera-se com este trabalho contribuir no sentido de incentivar novas pesquisas na área e com isso viabilizar a substituição de resinas sintéticas por bioplásticos para embalagens para alimentos.

¹ A metodologia do CETEA (Centro de Tecnologia de Embalagem) “Ensaio para Avaliação de Embalagens Plásticas Rígidas” fala em peso, mas o correto seria a determinação da massa.

2 EMBALAGENS PARA ALIMENTOS VERSUS MEIO AMBIENTE

2.1 Alternativas para a redução do resíduo sólido causado por embalagens sintéticas

Os plásticos sintéticos, conforme abordado no capítulo 1, substituíram os materiais convencionais, principalmente em embalagens de alimentos para facilitar a vida do homem moderno (COLTRO, 1995). O consumo mundial elevado deles, afeta as comunidades e nações do mundo, devido suas características de permanecerem intactos por centenas de anos na natureza, superlotando aterros e lixões.

Existe, portanto, uma preocupação crescente com isso, principalmente nos países desenvolvidos e também no Brasil, e a busca de alternativas para redução desses resíduos. Uma análise internacional criteriosa leva à conclusão que para o Brasil, a solução integrada é a única saída adequada, e esta passa pelo uso racional e associado das seguintes opções: redução na fonte, reutilização, reciclagem, incineração com recuperação de energia e aterro sanitário (BRASIL ..., 1998). Muitas dessas alternativas já estão sendo utilizadas para as embalagens, mas nem sempre são efetivas, pois não dependem exclusivamente do consumidor, e sim da sociedade como um todo. A fig. 2.1 mostra a representação hierárquica para a redução do resíduo sólido urbano (RSU).

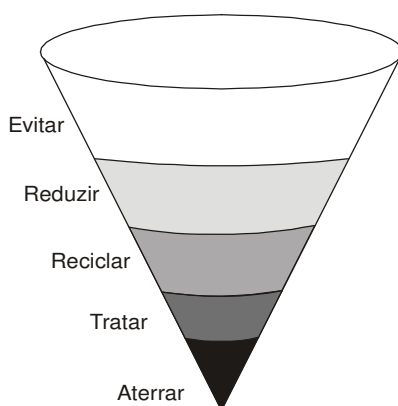


Figura 2.1: Representação da hierarquia da minimização do resíduo sólido urbano
Fonte: WILSON, 1999 apud GARCIA, 2000

Como pode ser visto na fig. 2.1, são várias as ações que podem ser tomadas para redução desses resíduos, como **evitar**, **reduzir**, **reciclar**, **tratar** e **aterrar** (GAR-

CIA, 2000). Essa hierarquia de ações é importante a ser considerada na concepção de novas embalagens (GRAEDEL e ALLENBY, 1996).

2.1.1 Evitar

Uma forma de *evitar* o uso de embalagens seria o controle do consumo ou a eliminação de componentes desnecessários do sistema de embalagem. O controle do consumo depende, na verdade, mais do consumidor e de sua própria educação e consciência ecológica. Já a eliminação de componentes desnecessários está relacionado principalmente com o projeto da embalagem, com seu próprio design. Para Manzini (1991) as mudanças nos estilos de vida só podem emergir a partir de uma complexa dinâmica sócio cultural onde os projetistas têm um papel limitado. Entretanto, a busca de soluções ambientalmente corretas depende do empenho de vários atores, entre os quais estão também aqueles que projetam e planejam o ambiente artificial.

Vários exemplos e relatos de estudo de caso quanto a eliminação de partes desnecessárias na embalagem, foram citados no Seminário “Importância Estratégica da Embalagem para o Meio Ambiente”. Um deles foi a eliminação do tabuleiro de papelão entre os potes nas caixas de Margarina Qualy, da Sadia. O exemplo relatado gerou ganhos em toda cadeia, como redução de custo na aquisição de embalagens, aumento da capacidade de empilhamento por palete, redução de custos no transporte e armazenamento, redução de gastos com a *unitização*² das cargas, e ainda o mais importante, ganho para o meio ambiente, gerando menos resíduos de embalagem (AZANHA, 2001).

Uma outra forma de evitar o consumo de embalagem por parte do consumidor seria utilizar embalagens contendo quantidades maiores de produtos ou a compra de produtos, quando possível, a granel, evitando assim o uso de embalagens. Na verdade, essa regra fica difícil de ser aplicada visto que existem muitas pessoas que moram sozinhas e que necessitam produtos embalados em porções menores para evitar que alimentos se estraguem, caso não consumido dentro do prazo de validade. Exemplos seriam embalagens para biscoitos, sucrilhos, etc.

² Unitização segundo Moura@ Banzato (1990, p.145) “é o agrupamento de objetos homogêneos, embalados ou não, em uma unidade adequada à movimentação mecânica e ao transporte, mantido desde o expedidor até o destino final”.

2.1.2 Reduzir

Reduzir significa diminuir a quantidade de embalagem por massa/volume de produto acondicionado e consumido. Nesta classificação se enquadram os sistemas de embalagens retornáveis (GARCIA, 2000). O redesign dos produtos e processos com o objetivo de reduzir o uso de materiais e emissões pode contribuir para minimizar os problemas ambientais, mas isoladamente não deve resolver o problema da demanda crescente por produtos e serviços em todo o planeta. A ausência de avanços em pelo menos um dos eixos levaria a um colapso ambiental (RAMOS, 2001). Muitas vezes, mesmo reduzindo o peso das embalagens com estratégias adequadas de projeto, não se consegue perceber o ganho, visto que a demanda de consumo aumenta, e mais e mais pessoas consomem embalagens, devido ao aumento populacional e também com o aumento do poder aquisitivo (GRAEDEL e ALLENBY, 1996).

O redesign de embalagem com a escolha de formatos que possuem maior resistência e menor massa tem ocorrido nos últimos cinco anos no Brasil nas embalagens PET (Polietileno Tereftalato) para refrigerante e principalmente óleos vegetais. Muitas dessas alteraram seu formato de quadrado para redondo e adquiriram maior resistência com menor massa. Também os designers utilizaram-se muitas vezes de recursos como introdução de painéis e aletas ou anéis ondulados nas regiões de maior fragilidade da garrafa compensando assim a falta de massa, mantendo a embalagem segura; essas mudanças passam muitas vezes despercebidas pelo consumidor. Na verdade, sabe-se que muita coisa ainda pode ser feita, tanto por parte dos designers de embalagens, como dos empresários na atualização tecnológica da produção da embalagem e, como consequência, embalagens mais leves de menor custo e ganho para o meio ambiente. Infelizmente nem sempre isso é possível, visto que as embalagens de um modo geral, são desenvolvidas separadamente e não se parte de um sistema de desenvolvimento integrado da embalagem primária com a de transporte e distribuição, tratando-as como um todo (MOREIRA, 1994; WALLENTIN apud BRASIL..., 1998). Muitas vezes, as embalagens são superespecificadas, para resolver problemas de maquinabilidade, impressão e proteção do produto.

A reutilização das embalagens é outra forma de se *evitar* a produção de novas embalagens e, por sua vez, o seu descarte. Quando se fala em embalagem retornável, automaticamente, pensa-se em vidro, porém hoje, com a introdução de novas

tecnologias e novos materiais, pode-se pensar em diferentes alternativas de embalagens retornáveis (MADI, L.; MULLER, M; WALLIS, G, 1998).

A estratégia de reuso pode prever o prolongamento da vida útil do produto na sua função original através de manutenção. Isso acontecia com as embalagens de vidro utilizadas para o leite que no passado eram reutilizadas na mesma função enquanto estivessem inteiras. Outra possibilidade é o aproveitamento do produto em outras funções. Os copos de vidro utilizados como embalagem para queijo cremoso são aproveitados como copos para o uso diário por muitas pessoas (RAMOS, 2001, p.83).

Garrafas, baldes plásticos para alimentos e produtos químicos, também podem ser reutilizados para outras finalidades (também chamado de redestinação) após uma limpeza adequada, o que não é recomendável com embalagens de produtos agrícolas, como herbicidas e pesticidas. (GRAEDEL e ALLENBY, 1996). As sacolas plásticas de supermercado, em muitas residências no Brasil estão sendo utilizadas para acondicionar lixo doméstico, sendo uma forma de *redestinação*, evitando o uso de sacos novos.

A utilização de refil é outra boa opção que já existe, mas ainda pouco estimulada e que proporciona a reutilização da embalagem original, como é o caso de café solúvel, sabão em pó, alguns cosméticos e produtos de limpeza onde o cabeçote do spray é reaproveitado, e que poderia se estendido para muitos outros tipos de produtos. Produtos de limpeza doméstica como, por exemplo, limpa-vidros, detergentes e amaciantes, já estão sendo comercializados na forma concentrada, pois a água pode ser acrescentada antes do uso, reduzindo assim o tamanho da embalagem, promovendo também ganhos no transporte do produto (GRAEDEL e ALLENBY, 1996).

2.1.3 Reciclar

Reciclar significa criar novos usos para o material de embalagem (GARCIA, 2000). Acreditava-se inicialmente que, com a introdução de reciclagem, os problemas de meio ambiente e resíduos sólidos estariam todos resolvidos. Infelizmente ainda hoje esse conceito continua forte em meio a consumidores, políticos, agentes governamentais, técnicos especializados. É necessário, no entanto, uma análise mais profunda para verificar quando esta situação é viável, como a análise econômica do sistema, os mercados de utilização dos materiais reciclados, as técnicas de

coleta e separação e o envolvimento da sociedade neste processo (MADI, MULLER e WALLIS, 1998). Para que um material plástico possa ser reciclado, é necessário que seja termoplástico e a peça precisa trazer a identificação do tipo de plástico a que pertence. No Brasil a norma da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, padroniza os símbolos que identificam os diversos materiais e tipos de plásticos virgens (NBR 13230 apud QUAL é a simbologia ..., 2003). Os tipos são classificados por números, conforme fig. 2.2

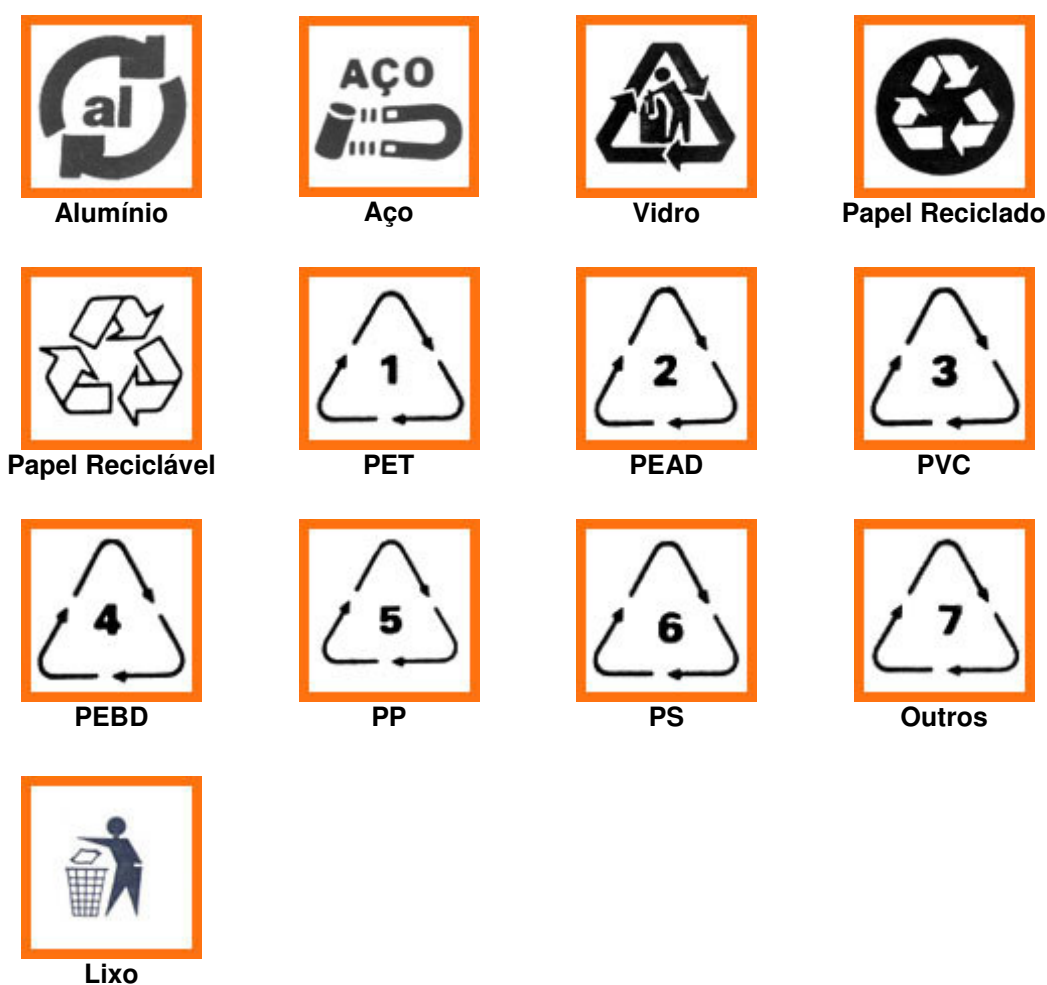


Figura 2.2: Simbologia brasileira de identificação de materiais
 Fonte: QUAL é a simbologia..., 2003

Para viabilizar a reciclagem é importante observar os seguintes aspectos:

1. usar materiais compatíveis entre si e evitar misturas;
2. padronizar as cores, tintas, vernizes e pigmentos que sejam fáceis de retirar e não poluentes, para uma mesma classe de produto;
3. evitar o uso de aditivos e acessórios que comprometam a reciclagem;

Como exemplo, pode-se citar as garrafas PET que são rotuladas com adesivo tipo *hot melt*, que interfere no desempenho do processo de reciclagem das garrafas e também não permite reciclar o material do rótulo plástico ou papel, pois este tipo de cola não é reciclável. No entanto, visando facilitar a reciclagem e o aspecto ambiental, a tendência é desenvolver novos tipos de adesivos a exemplo da empresa alemã Krones, que desenvolveu um novo adesivo que permite também a reciclagem dos rótulos, sem interferir no processo de reciclagem das garrafas (GARCIA, 2002).

4. Separar os materiais recicláveis dos resíduos orgânicos, contribuindo com a coleta seletiva oficial ou informal.

Existem três tipos de processos de reciclagem (MOURAD et al., 2002):

- a) *reciclagem mecânica*: a mais comum, consiste na transformação do material coletado em outro tipo de produto, com função igual ou diferente do original. Exemplo: Embalagens PET recicladas gerando fio de costura, cordas, *carpet*, vassouras e escovas, camisetas, mantas, enchimento de edredons, garrafas de detergentes, garrafas de bebidas em multicamadas, bandejas de frutas, etc. (NADA se perde ..., 2001);
- b) *reciclagem química*: a menos comum, pois necessita de equipamentos mais sofisticados e consome mais energia do que a reciclagem mecânica. Os materiais são decompostos até a obtenção de compostos químicos iniciais. Ex: Polietileno é convertido em etileno e este pode ser utilizado como matéria-prima em qualquer processo químico que envolva o composto;
- c) *reciclagem energética*: esse tipo de processo é utilizado para materiais com elevado valor energético como papel e plástico, ainda não muito utilizados no Brasil. Esse processo aproveita o conteúdo energético dos materiais no lugar de combustíveis fósseis. Porém, é necessário que os incineradores sejam projetados para recuperação de energia e tenham controle adequado dos níveis de emissão atmosférica e a disposição final das cinzas.

Existem muitas vantagens de se reciclar as embalagens após o seu uso; as principais são:

- redução da quantidade de resíduo a ser enviado para aterros sanitários ou disposição em locais indevidos;
- redução no consumo de recursos naturais;

- aproveitamento do material de embalagem, evitando emissões e os consumos relativos aos processos de extração e beneficiamento das matérias-primas e da produção desse material para um novo uso. No entanto, a reciclagem pós-consumo, apresenta as seguintes desvantagens para o Meio Ambiente:
 - a) dificuldade de reaproveitamento de embalagens laminadas e coextrusadas multicamadas e embalagens “longa vida”, composto de papel cartão duplex (75%), polietileno de baixa densidade (20%) e alumínio (5%). Atualmente já é possível reciclar embalagens *longa vida*, quando ocorre a coleta seletiva. No Brasil, em 1999, foram recicladas 10 % dessas embalagens (VON ZUBEN, 2000);
 - b) consumo de energia e emissões decorrentes da coleta e transporte do material até o local de reciclagem;
 - c) consumo de água, de energia e de combustíveis para seleção, transporte, limpeza e processamento do material, além de emissões para água, ar e resíduos sólidos gerados no processo de reciclagem.

2.1.4 Tratar

Tratar significa aproveitar o valor calorífico do material por meio de incineração com recuperação de energia, ou pela compostagem do material orgânico do lixo e/ou dos materiais de embalagens degradáveis (GARCIA, 2000).

A incineração trata dos resíduos sólidos incluindo as embalagens de alimentos e reduz o volume de ocupação em aterros sanitários de 85-90 %. Um incinerador pode ser operado sem provocar agressões ao meio ambiente, para isso, deverão ser empregados precipitadores de partículas, filtros eletrostáticos, lavadores de gases, etc. A incineração nos moldes antigos tem sido muito criticada por ambientalistas, visto que acarreta uma carga de emissões atmosféricas indesejáveis ao meio ambiente.

Os plásticos constituem a fonte mais valiosa de energia dos componentes dos resíduos sólidos urbanos. O poder calorífico do polietileno e do poliestireno, por exemplo, são os mais elevados. O poder calorífico do polietileno é de 18.700 BTUs por quilo e do lixo urbano em si é de 4.500 BTUs por quilo. No incinerador há neces-

sidade de combustível extra, quando a fração de plástico que compõem os resíduos sólidos for muito pequena (BROWN, 1992).

Muitos países, principalmente os em desenvolvimento, não estão adotando a incineração devido ao alto custo. O Japão e países escandinavos, por exemplo, incineram quase todo o seu resíduo sólido (MADI, L; MULLER, M; WALLIS, G., 1998; BROWN, 1992). No Brasil como pode ser visto na tabela 1.1 a incineração representa menos de 4% do lixo coletado das capitais ou regiões metropolitanas. Segundo Brown (1992), existem aspectos importantes a serem considerados para uma incineração segura:

- separação adequada de materiais é importante. Por exemplo, baterias de carro produzem produtos tóxicos quando queimadas; bem como certos tipos de plásticos, como o PVC;
- vidros e metais também devem ser separados, pois em vez de produzir, consomem energia;
- os materiais que alimentam o incinerador devem possuir tamanhos uniformes para facilitar o manuseio e a queima no incinerador;
- é importante que seja mantida uma temperatura elevada e constante para facilitar a completa oxidação dos materiais combustíveis.

A degradação de plástico é mais um método para reduzir o volume de resíduos sólidos provenientes dos plásticos. “Degradação” de plásticos significa qualquer processo que faz o plástico perder sua identidade e se quebrar em partículas menores por mecanismos bioquímicos, fotoquímicos e degradação hidrolítica (BROWN, 1992). Existem plásticos semibiodegradáveis obtidos por mistura de polímeros sintéticos e aditivos biodegradáveis como, por exemplo, o amido. O amido é biodegradado por enzimas e os polímeros sintéticos apenas sofrem fragmentação em tamanhos menores. Nesse caso somente ocorre a diminuição do volume desses plásticos, mas os resíduos deles permanecem na natureza por longo tempo (MARTINS, 2003). Os plásticos biodegradáveis derivados de recursos naturais se degradam totalmente na natureza sem deixar resíduos prejudiciais (veja item 2.3.1 Biodegradação de Plásticos).

A fotodegradação de polímeros sintéticos através da adição de aditivos faz com que os plásticos em presença de raios UV (ultravioleta) da luz do sol se degradem, reduzindo assim o seu volume, mas mesmo assim deixam resíduos na natureza

(BRISTON, 1990). Degradação hidrolítica ocorre, por exemplo, com PVA (poliálcool vinílico), através do processo de hidrólise.

2.1.5 Aterrar

Aterrar os resíduos sólidos significa destinar aos aterros apenas o que não pode ser aproveitado de nenhuma forma. “Os aterros são caros e cada vez mais escassos em todo mundo. Muitas legislações definem limites sobre o que pode ser destinado aos aterros sanitários” (GARCIA, 2000, p. 82). O importante é diminuir a quantidade de materiais a eles destinados, através de campanhas de educação e conscientização de toda a sociedade. Separar os materiais tóxicos, como pilhas, baterias e lâmpadas fluorescentes, pesticidas, etc. evita a contaminação dos lençóis freáticos. A própria coleta seletiva e valorização dos materiais são importantes para a redução do *littering* (disposições desordenadas) do lixo urbano no Brasil, deixando para os aterros somente os materiais que não podem ser aproveitados e que não causem danos à natureza. É importante que o gás metano gerado pelos aterros seja aproveitado para produção de energia, evitando assim emissões para o meio ambiente, que contribuem para as mudanças climáticas.

Nos aterros controlados, o lixo é classificado em três categorias do ponto de vista da periculosidade. A classe I é a mais perigosa, que apresenta risco à saúde pública ou ao meio ambiente. Nessa classe enquadram-se materiais como inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos e causadores de doenças. A classe II é não inerte, tais como materiais combustíveis, biodegradáveis e materiais solúveis na água. A classe III é inerte, ou seja, materiais sólidos e insolúveis na água. O lixo deve ser tratado de acordo com sua classe (APRENDENDO ..., 2002).

2.2 Embalagens de Material Biodegradável

A futura geração de materiais de embalagem será derivada de recursos renováveis (PETERSEN et al., 1999). Biopolímeros são polímeros formados na natureza durante o ciclo de crescimento de todos os organismos, por isso são considerados polímeros naturais. Sua síntese normalmente envolve catálise enzimática, crescimento da cadeia molecular através de reações de polimerização dos monômeros

ativados, os quais são tipicamente formados dentro das células, por processos metabólicos complexos. Esses materiais são normalmente biodegradáveis (CHANDRA e RUSTIGI, 1998). Atualmente tem-se dado grande importância a embalagens biodegradáveis devido ao marketing de materiais ecologicamente corretos. Vários autores no mundo, bem como entidades normatizadoras, têm se preocupado em definir plástico biodegradável. Na verdade não existe um consenso, mas as definições são bastante similares adotada pela **ISO:1472:1998**:

Polímero biodegradável é um polímero designado para sofrer uma mudança significativa em sua estrutura química sob condições ambientais específicas, resultando na perda de algumas propriedades que podem variar quando medidas por testes padrões apropriados ao polímero. A mudança na estrutura química resulta da ação de microorganismos que ocorrem naturalmente na natureza. (ISO:1472,1998 apud CHANDRA, e RUSTIGI, 1998. p.1274).

2.2.1 Classificação de biopolímeros

Os polímeros derivados de recursos naturais renováveis, os “biopolímeros”, são classificados de acordo com o seu processo de produção. Existem três categorias de biopolímeros (PETERSEN et al., 1999):

- a) Polímeros extraídos diretamente de materiais naturais (principalmente plantas). Exemplos desse tipo são os polissacarídeos como o amido, a celulose e proteínas como a caseína e o glúten do trigo;
- b) Polímeros produzidos a partir da síntese química clássica, a partir de monômeros bioderivados. Um bom exemplo é o polilactato, um bio-poliéster polimerizado a partir de monômeros do ácido láctico. O monômero em si é produzido pela fermentação de carboidrato;
- c) Polímeros produzidos por microorganismos ou bactérias geneticamente modificadas. Os mais conhecidos são os polihidroxialcanoatos, principalmente o hidroxibutirato (HB) e hidroxivalerato (HV). Nos Estados Unidos, tais polímeros são produzidos pela Monsanto e o nome genérico deles é Biopol®. No Brasil e em toda a América Latina a empresa pioneira a produzir o PHB e o PHBV é a Copersucar (Cooperativa dos Produtores de Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo), a qual desenvolveu em conjunto com o IPT/SP, um projeto para obter tais polímeros por fermentação bacteriana de *Alcaligenes eutrophus* (NASCIMENTO, 2001).

Existe ainda uma outra classificação para polímeros biodegradáveis, baseada em sua forma de degradação, como os fotodegradáveis, os semibiodegradáveis e os biodegradáveis. Os polímeros fotodegradáveis se degradam na presença da luz do sol. Os polímeros semibiodegradáveis são polímeros naturais, que são copolimerizados com polímeros sintéticos e por isso se degradam parcialmente. No terceiro tipo tem-se os biopolímeros totalmente biodegradáveis, a exemplo dos polihidroxicanoatos, os polilactídeos, os poliésteres alifáticos e seus copolímeros ou blendas (REDDY et al., 2003). Os polihidroxicanoatos, em especial o PHB (poli ácido 3-hidroxibutírico) fará parte de um estudo mais detalhado desta revisão.

2.2.2 Polihidroxicanoatos -PHAs

PHAs são poliésteres naturais produzidos por uma larga variedade de bactérias a partir de materiais de reserva intracelular. Esses polímeros termoplásticos podem ser obtidos a partir de fontes renováveis. Eles são biocompatíveis e têm sido reconhecidos como os substitutos potenciais dos termoplásticos derivados do petróleo. Em aplicações de descartabilidade muito rápida, podem ser depositados em aterros sanitários sem prejudicar a degradação dos outros materiais constituintes do lixo. No caso da existência de coleta seletiva podem ser misturados com a matéria orgânica e utilizados como fertilizantes, após compostagem existindo também a possibilidade de reciclados (CAMPOS, 2003).

Os membros desta família de termoplásticos, os biopolímeros, os quais têm uma estrutura geral dada conforme fig. 2.3, podem apresentar uma variação em suas propriedades materiais, de plásticos rígidos e brilhantes, para plásticos flexíveis com boas propriedades de impacto e para fortes elastômeros, dependendo do tamanho do grupo alquila **R**, e da composição do polímero (CHANDRA, R ; RUSTIGI,R.,1998).

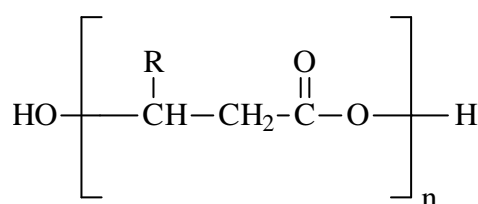


Figura 2.3: Fórmula estrutural geral dos Polihidroxicanoatos – PHAs

A literatura menciona que pelo menos 100 monômeros diferentes já foram identificados como constituintes de PHAs que podem ser produzidos a partir do fornecimento de um substrato adequado (GOMES e BUENO NETTO, 2001; REDDY et al., 2003). Essa variedade traz a vantagem de se sintetizar polímeros com as mais variadas propriedades. A massa molecular dos PHAs situa-se na faixa de 50.000 – 1.000.000 Da.

O polímero com $R=CH_3$ é o ácido-3-hidroxi-butírico (PHB), é o PHA melhor caracterizado, possui peso molecular relativamente alto e propriedades reológicas mecânicas aos plásticos convencionais, como o polipropileno. Esse polímero foi descoberto em 1925 por Lemoigne que, observando grãos insolúveis inclusos no fluido citoplasmático de cultura de *Bacillus megaterium*, comuns em lipídeos, constatou um poliéster tendo uma fórmula empírica $(C_4H_6O_2)_n$, conforme a fig. 2.3. Em 1976, a empresa Imperial Chemical Industrie (ICI) retomou os estudos com PHB, objetivando sua produção comercial com a alternativa para a substituição de matérias-primas derivadas do petróleo. Em 1981 foi depositada patente, descrevendo um processo utilizando a bactéria *Alcaligenes eutrophus* para a produção de copolímeros contendo 3HB(3-hidroxi-butirato) e 3HV(3-hidroxi-valerato) (GOMES e BUENO NETTO, 2001; NASCIMENTO, 2001).

“Hoje já é bem conhecido que o PHB pode ser isolado de vários microorganismos, sendo o *Alcaligenes eutrophus* o mais importante deles. Sob condições ótimas, até 80% do peso celular seco pode ser acumulado como PHB” (CORNIBERT e MARCHESSAULT, 1972 apud NASCIMENTO, 2001, p.7).

O PHB é altamente cristalino com uma temperatura de fusão aproximada de 180 °C e uma temperatura de cristalização em torno de 5 °C. Uma combinação de alta cristalinidade e altas temperaturas faz com que os seus filmes sejam bastante brilhantes. Sua rigidez e baixa resistência ao impacto tem dificultado bastante sua utilização. Já os copolímeros de PHB possuem melhores propriedades mecânicas (CHANDRA e RUSTIGI, 1998). Outra vantagem de se adicionar comonômeros na polimerização é a redução de custo de produção (SAVENKOVA et al., 2000). Os copolímeros PHBV, por exemplo, conferem uma melhoria na ductibilidade e na resistência ao impacto, tornando-os mais interessantes do ponto de vista de aplicação e de produtos finais, que o homopolímero de PHB.

As fórmulas estruturais do monômero ácido-3-hidroxi-butírico e do polímero PHB estão ilustradas na fig. 2.4.

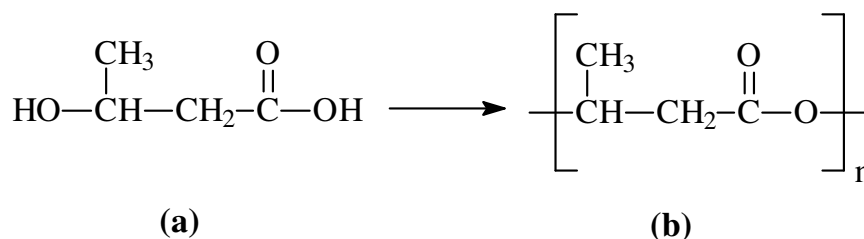


Figura 2.4: Fórmula estrutural do (a) ácido 3-hidroxi-butírico e (b) PHB (Poli (ácido 3-hidroxi-butírico))

Os polímeros de PHB são bastante usados em várias áreas como medicina, agricultura, marinha, apresentação de remédios e nos ramos de embalagens de alimentos, fármacos e produtos de higiene pessoal. Uma das aplicações de copolímeros de PHB está em materiais de embalagens e forração na agricultura (lonas) (CHANDRA e RUSTIGI,1998; SAVENKOVA et al., 2000).

Produção de PHB processo Copersucar (NASCIMENTO, 2001, p. 10-29)

No Brasil, o PHB é produzido pela Copersucar, a única Empresa da América Latina que produz PHAs de fontes renováveis. O processo de produção do Poli (ácido 3-hidroxi-butírico) - PHB constitui-se basicamente de duas etapas; uma **etapa fermentativa**, onde o microorganismo metaboliza o açúcar disponível no meio e acumula o PHB no interior da célula, como fonte de reserva; e uma **etapa posterior**, onde o polímero acumulado no interior da célula do microorganismo é extraído e purificado até a obtenção do produto final sólido e seco, pronto para ser utilizado em processos convencionais de transformação de termoplásticos.

O projeto desenvolvido pela Copersucar, em parceria com a Usina da Pedra – Açúcar e Alcool, permitiu utilizar o açúcar e/ou melaço como constituinte básico do meio fermentativo; o óleo fusel (solvente orgânico – subproduto da fabricação do álcool) como sistema de extração do polímero sintetizado pelos microorganismos e permitiu também o aproveitamento do excedente de bagaço de cana-de-açúcar para a produção de energia (geração de vapor) para estes processos. Este desenho de projeto permitiu uma perfeita integração vertical com a máxima utilização de sub-produtos gerados na fabricação de açúcar e álcool, gerando processos que utilizam as chamadas **tecnologias limpas** e ecologicamente corretas.

O processo de produção do PHB (Tecnologia Copersucar) pode ser melhor visualizado através da Fig. 2.5.

Dentre as várias etapas que compõem o processo de produção do PHB, destacam-se a etapa de fermentação, que determina a massa molecular final do polímero obtido, e a etapa de extração, onde muitas propriedades do produto final são obtidas. Esta última etapa é crítica para a processabilidade do material, uma vez que ela é responsável pelo grau de pureza do polímero obtido. Devido à sua importância, estas duas etapas serão descritas mais detalhadamente, pois muito do comportamento do polímero deve-se às características ou variáveis de processo adotadas.

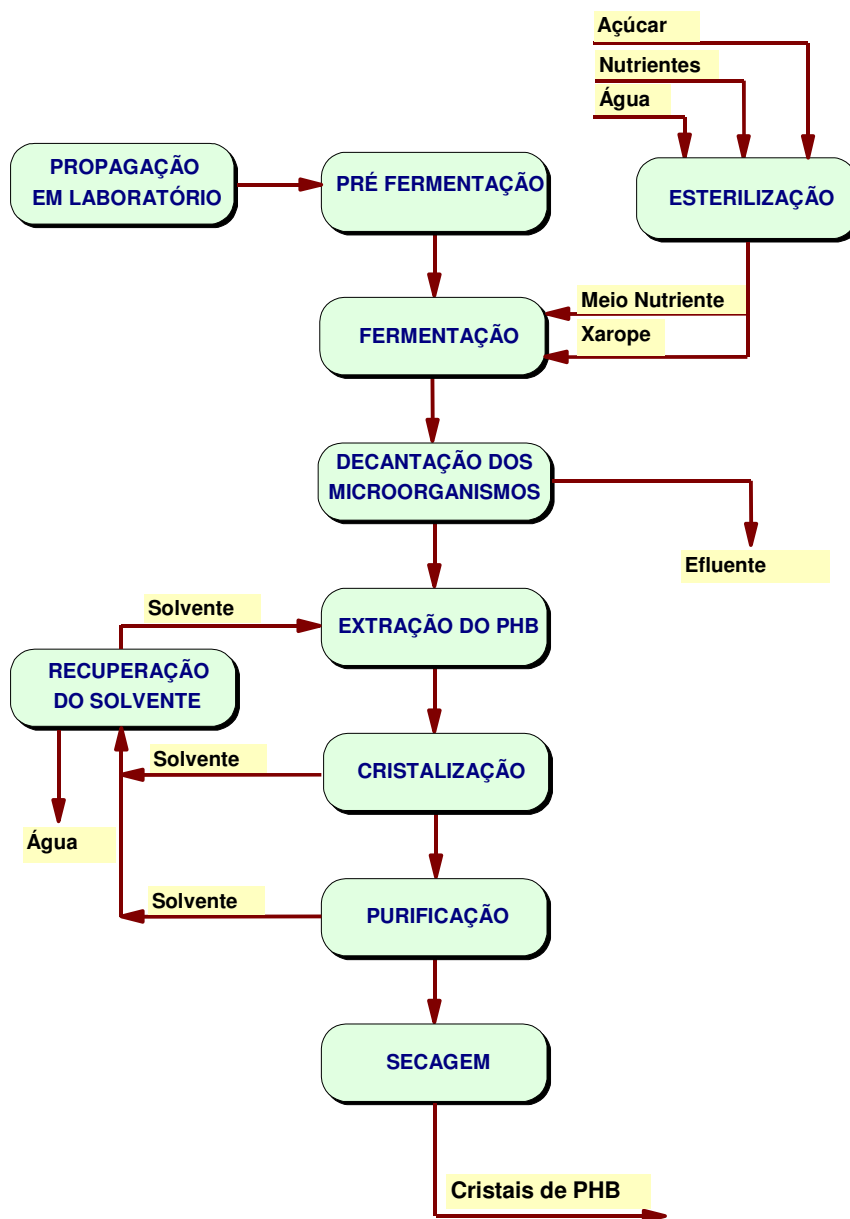


Figura 2.5: Processo de Produção do Poli (ácido 3-hidroxi-butírico) - PHB (NONATO e ROSSEL, 1999)
Fonte: NASCIMENTO, 2001, p.12

[...]

Processo fermentativo de obtenção do PHB

Sendo um processo fermentativo tipicamente de batelada alimentada, onde as células são destruídas para purificação do polímero, cada ciclo fermentativo é independente do outro, iniciando-se sempre a partir de um tubo de cultura.

A primeira etapa do processo consiste na reativação das células em meio nutriente complexo, feita em agitador de frascos. As células reativadas e em crescimento passam a um segundo meio, de composição mais próxima ao de fermentação, porém adaptado às condições de agitador de frascos (baixa concentração de açúcar em meio tamponado). As etapas seguintes visam aumentar o volume de inóculo, de maneira rápida e simples. Elas são realizadas em fermentadores com tamanhos sucessivamente maiores (cada

um guarda uma relação de cerca de dez vezes o volume do anterior), todos utilizando o mesmo meio de fermentação.

Diversas formas de preparo e composição deste meio de fermentação foram avaliadas, partindo-se de mel e diversos tipos de açúcares. Esta avaliação indicou como melhor opção o uso de açúcar cristal, complementado com os nutrientes necessários, por facilitar e reduzir custos no processamento “down-stream” (extração e purificação) do polímero. Sendo uma matéria-prima extremamente pobre em termos de nutrientes, é necessária a adição de uma série de sais na composição do mosto (caldo de fermentação contendo açúcar).

Para o primeiro fermentador, o mosto é esterilizado em autoclave de laboratório, utilizando xarope 60 invertido como fonte de carbono. Adiciona-se ainda uma solução de micronutrientes (sais de Fe, B, Mo, Ni, Cu, Mn, Co, Zn), magnésio e cálcio, fosfato de potássio/sódio como fonte de fósforo, e hidróxido de amônio como fonte de nitrogênio e controle de pH.

Esta primeira etapa de fermentação é conduzida a pH 6,5 e temperatura de 34 °C, durando cerca de 16 horas, levando a uma concentração celular próxima de 12 g/L (em base seca).

Para as etapas seguintes, a composição do mosto é a mesma, adaptada às exigências de processo para volumes maiores. Utiliza-se um esterilizador contínuo para a etapa de esterilização, onde eleva-se a temperatura do mosto a 130 °C por 8 minutos, resfriando-se em seguida a 30 °C.

Após a transferência do mosto aos fermentadores, previamente esterilizados, adiciona-se ácido fosfórico, que servirá como fonte de fósforo. Amônia gasosa substitui hidróxido de amônio como fonte de nitrogênio e controle de pH, em razão da facilidade de estocagem e adição, e por não alterar o volume do meio.

[...] As etapas subseqüentes de fermentação, conduzidas no mesmo pH e temperatura, duram cerca de 10 horas cada, produzindo a mesma concentração celular, até ser atingido o volume necessário para a etapa final, ou seja, a produção efetiva do polímero.

Para esta última etapa, o fermentador difere dos demais no sentido de ter que dispor de um volume útil bastante superior ao volume inoculado inicialmente. Isto ocorre porque, na primeira etapa de crescimento por batelada, a concentração celular atinge apenas cerca de 12 kg/m³. Esta concentração tem que ser bastante aumentada para melhor aproveitamento das instalações e facilitar o processamento “down-stream”.

Desta forma, nas mesmas condições da etapa anterior, após cerca de 12 horas de fermentação, o AR (Açúcar Redutor) do mosto é esgotado, produzindo uma concentração celular de 12 kg/m³. A partir deste ponto, xarope 60 invertido é adicionado continuamente, procurando-se manter o AR do meio entre 3 e 5 kg/m³.

Nesta etapa, o oxigênio dissolvido é mantido constante aumentando-se a aeração/agitação do fermentador, controladas por um sensor de oxigênio. Este processo continua até serem esgotados os nutrientes do meio, principalmente fósforo, numa etapa que dura cerca de 14 horas e eleva a concentração celular a 35 - 40 kg/m³. Ao se esgotarem os nutrientes e na presença de açúcar, a bactéria pára de se multiplicar e entra na fase final de fermentação, o acúmulo de polímero.

Inicialmente, com apenas cerca de 20% de seu peso seco em PHB, a etapa de acúmulo eleva o teor de polímero intracelular do *Alcaligenes* a até 75%.

[...] A fase de acúmulo dura cerca de 14 horas e eleva a concentração celular, de 35 -40 kg/m³, para 150 kg/m³. Durante esta fase, o fermentador atinge seu volume útil total, praticamente o dobro do volume inicial.

[...]

A partir daí, o meio fermentado, contendo 150 kg/m³ (base seca) de células inativadas, com cerca de 75% de polímero intracelular, pode ser conduzido às etapas de “down-stream” para extração e purificação.

Processo de Extração/Purificação de PHB segundo a metodologia Copersucar

Na Copersucar, o material fermentado inativado contendo Poli (ácido 3-hidroxibutírico) - PHB é submetido a um tratamento químico, onde é diluído na proporção de 1 parte de fermentado para 2 partes de água, recebendo a adição de ácido fosfórico e, em seguida, hidróxido de cálcio. O material é então floculado mediante a adição de um polieletrólito aniônico, preferencialmente uma poliacrilamida, homogeneizado e encaminhado para um separador centrífugo tipo decantador. O lodo obtido é então alimentado num sistema de extração de múltiplo estágio em contra-corrente com o solvente retificado.

O sistema de extração, que opera à temperatura de 110 a 120 °C, é constituído de 3 reatores agitados, sendo o lodo alimentado no primeiro estágio, misturado ao extrato efluente do reator subsequente e ao vapor de solvente retificado.

O extrato bruto deve passar por um processo de remoção completa dos sólidos insolúveis, utilizando-se um filtro pré-capa, a temperatura de extração. O material filtrado, isento de sólidos insolúveis, passa então por um processo de pré-resfriamento regenerativo até a faixa de 50 a 60 °C e é encaminhado para os cristalizadores. O processo de precipitação (“cristalização”) e crescimento do PHB se inicia com a introdução de uma quantidade de “sementes” (gêrmens de cristalização) seguido de um resfriamento programático. Completada a cristalização, o material contendo duas fases, uma sólida (PHB precipitado) e outra líquida (solvente) pode então ser separado por centrifugação em uma ou mais etapas.

O material em suspensão (“cristalizado”) passa por um processo de centrifugação num separador de pratos, obtendo-se um clarificado límpido (isento de sólidos) e uma pasta rica em PHB, caracterizada por conter de 3 a 5% [...] de PHB precipitado. Esta lama com alto teor de PHB é, novamente, filtrada em filtro tangencial de membrana para remoção adicional de solvente e finalmente encaminhada para a remoção do solvente residual.

O sistema de remoção de solvente da pasta de PHB trabalha num esquema de múltiplo estágio a vácuo e em contra corrente, sendo a pasta alimentada no primeiro estágio e água e vapor d'água alimentada no estágio de recuperação de solvente. No primeiro estágio, a pasta de PHB é agitada e granulada continuamente, concomitante com a remoção de solvente e injeção de vapor do estágio posterior. A suspensão de PHB e água é continuamente removida e bombeada até o segundo estágio, onde recebe a injeção de vapor do estágio posterior.

O processo se repete até o último estágio, que recebe a injeção de vapor d'água à pressão de 1,5 a 6 kgf/cm² e água potável. No último estágio, o material completamente granulado e com teor de solvente inferior a 7 ppm, é removido e encaminhado a uma peneira vibratória. Neste estágio, o PHB granulado é separado do líquido e enviado para secagem a vácuo.

O processo de biossíntese por fermentação aeróbica com extração e purificação do Poli (ácido 3-hidroxibutírico) - PHB por solvente, apresenta os seguintes coeficientes técnicos, contidos nas Tabelas 2.1 e 2.2.

Tabela 2.1: Coeficientes técnicos do processo de biossíntese por fermentação aeróbica Copersucar – usina da pedra

Consumo de açúcar	3,0 kg/kg de PHB
Massa de microorganismos obtida	100 kg de biomassa seca/m ³ de vinho
Fração de plástico biodegradável	70% - 75%
Tempo de fermentação	45 horas
Rendimento na separação	Próximo de 95%
Consumo de energia	2,9 kwh/kg PHB
Consumo de vapor	40 kg/kg de PHB

Estes coeficientes técnicos referem-se à Unidade Piloto, (veja fig. 2.6) construída na Usina da Pedra – Açúcar e Álcool, com tecnologia do Centro de Tecnologia da Copersucar (NONATO e ROSSEL, 1999), com o seguinte descritivo de projeto (Tabela 2.2):

Tabela 2.2: Descritivo de projeto para produção de PHB pela Copersucar – Usina da Pedra

Localização:	USINA DA PEDRA S/A - Serrana/SP
Capacidade:	30 - 60 toneladas/ano
Produtos:	Biopolímeros (PHB e PHBV)
Projeto:	Centro de Tecnologia Copersucar
Tecnologia:	Copersucar e IPT
Insumo básico:	Açúcar
Microorganismo:	Bactéria do gênero Alcaligenes
Processo:	Biossíntese do polímero por fermentação aeróbica. Extração e purificação do polímero por solvente.
Início de operação:	Setembro/1995



Figura 2.6: Planta piloto da usina da pedra – açúcar e álcool
Fonte: NASCIMENTO, 2001, p.29

- Aspectos Econômicos

O principal fator limitante para uma maior aplicação do Poli (ácido 3-hidroxi-butírico) - PHB, ainda é o custo associado ao produto. Em níveis de produção atuais (~1000 t/Ano) o preço internacional encontram-se na ordem de US\$ 20,0 / kg, com projeção de queda de cerca US\$ 6,0 – 10,0 / kg, quando novas plantas que estiverem sendo construídas entrarem em operação. Este custo é extremamente elevado quando comparado a poliolefinas convencionais (PP, PEAD, PEBD e etc.) que estão na ordem de US\$ 1,5 / kg.

Existem numerosos exemplos de materiais poliméricos que geraram avanços tecnológicos significativos aliados à economia de escala, levando a

uma redução significativa no preço final do produto (King, 1992). Entretanto, com o custo atual, aplicações específicas de alto valor agregado de produtos finais manufaturados em pequenas quantidades, tornam o material bastante atrativo. O custo de produção do PHB tem três componentes principais: materiais, principalmente a fonte de carbono para a alimentação dos microorganismos; o processo de fermentação, incluindo a extração e a purificação do polímero e o custo de capital (ativos fixos e ~~variáveis~~ no processo, de fermentação e na tecnologia associada à extração, bem como em economia de escala, têm auxiliado na competitividade do PHB, estando agora grande parte do custo associado ao processo de extração/separação do polímero. O processo de obtenção do PHB utilizando tecnologia Copersucar tem grande vantagem competitiva, uma vez que a fonte de carbono é verticalizada através da produção de açúcar e álcool. Os insumos energéticos (energia e vapor) são obtidos através da queima do bagaço da cana-de-açúcar em sistemas de caldeiras, permitindo um grande ganho em custos variáveis. O sistema de extração também utiliza um solvente fabricado pelo próprio produtor do PHB, gerando aqui mais um ganho competitivo.

2.2.3 Exemplos de usos de embalagens biodegradáveis

Várias empresas como a italiana Fertec e a americana Warner-Lambert estão começando a produzir sacolas de plásticos feitas a partir do ácido poliláctico (PLA), sintetizado a partir do milho e da beterraba (LOPES, 2002). De acordo com a revista Globo rural de setembro de 2002, o CERAT (Centro de Raízes e Amidos Tropicais) da UNESP (Universidade Estadual Paulista) em Botucatu, São Paulo, desenvolveu uma bioembalagem à base de fécula de mandioca que pode ser utilizada para embalagens flexíveis como sacolas ou moldadas, tipo bandejas. O único inconveniente é que serve somente para acondicionar produtos secos. Mais estudos estão sendo desenvolvidos com ceras naturais como de abelha ou de carnaúba para impermeabilizar estas embalagens evitando, assim a degradação pela umidade.

A revista Embalagem Marca de maio de 2002 apresentou exemplos de bioplásticos que foram apresentados na feira internacional de embalagens Interpack de 2002. O primeiro foi um polímero NatureWorks PLA fabricado pela Cargill Dow com ótimo desempenho para embalagens rígidas e flexíveis, fabricado a partir do milho. Esse polímero pode ser utilizado nos processos de injeção, extrusão, sopro e estiramento e já foi utilizado na produção de embalagens pela Coca-Cola e Sony. (veja fig. 2.7).



Figura 2.7: Embalagem de bombom com filme NatureWorks³ produzido a partir do milho
Fonte: (KAMIO, 2002).

O segundo exemplo foram os recipientes feitos de amido extraído da mandioca da Tailândia (fig. 2.8). Essas embalagens, além de baixo custo de produção e biodegradabilidade, possibilitam a utilização em freezer e forno de microondas. Elas se desintegram em 24 horas e podem virar adubo ou mesmo ração de gado (KAMIO, 2002).



Figura 2.8: Recipientes de amido produzidos a partir do amido da mandioca
Fonte: (KAMIO, 2002).

Na Bélgica, por exemplo, já são utilizadas comercialmente embalagens de alimentos contendo amido para batatas fritas e refeições rápidas.

As atividades de pesquisa e desenvolvimento para as embalagens derivadas de polilactatos e polihidroxicanoatos se intensificaram na última década. No entanto, ainda existe falta de literatura técnica referente a estes materiais de embalagem. A

³ www.cargilldow.com

Danone, por exemplo, empresa de laticínios, está testando copos para iogurtes de polilactatos. A primeira utilização do PHA como embalagem foi de xampu biodegradável obtida pelo processo de injeção-sopro pela WELLA AG – Alemanha (RAMSAY e RAMSAY, 1990 apud NASCIMENTO, 2001). Sugere-se aplicações potenciais para os polihidroxialcanoatos também para embalagens de alimentos devido a suas propriedades de barreira a gases, levando a aplicação em garrafas de refrigerantes, em substituição ao polietileno tereftalato (PET). Também a laminação com papel cartão permite a obtenção de embalagens “longa vida” para leite, suco, bebidas isotônicas, copos, e embalagens para refeições rápidas. Porém, na embalagem convencional o material utilizado para o recobrimento dos papéis é o polietileno de baixa densidade, PEBD. Ele não permite a degradação do papel no descarte, além de dificultar a reciclagem da embalagem como um todo, uma vez que é muito difícil a separação de seus componentes (PETERSEN et al., 1999; NASCIMENTO, 2001).

A fig. 2.9 mostra garrafas de polihidroxibutirato (PHB) cujo nome comercial é Biopol®, é termoplástico e compostável, produzido por bactérias alimentadas com açúcar de uva.



Figura 2.9: Garrafas de PHB em processo de biodegradação
Fonte: BADER,MELLE e NICK, sem data

2.3 Algumas Características Importantes para a Seleção de Materiais de Embalagens para Alimentos

A função de uma embalagem é conter e proteger o produto do meio ambiente, mantendo sua qualidade (no caso alimento) durante sua vida de prateleira. Além do mais, a embalagem necessita tratar da comunicação, estética, conveniência, leis e exigências comerciais e tratar de aspectos ambientais como facilidade de degradação ou reciclagem (PETERSEN et al., 1999; PIERGIOVANNI, 1998; ROBERTSON, 1993). Além destas funções tecnológicas e mercadológicas, é importante também lembrar a função econômica da embalagem. O custo da embalagem deverá ser objeto de muita atenção, pois muitas vezes a embalagem custa mais que o próprio manufaturado que contém (GURGEL, 1995).

O tempo de vida útil do produto é controlado por três fatores: características do produto, propriedades da embalagem em si e condições de distribuição e estocagem. A embalagem é, muitas vezes, responsável pela garantia da qualidade do produto (BROWN, 1992; PETERSEN et al., 1999):

a) *características do produto*: quando se seleciona uma embalagem é importante conhecer as características individuais do produto. Reações deteriorativas incluem reações enzimáticas, químicas, físicas e mudanças microbiológicas. Pode-se citar a oxidação, ganho ou perda de umidade, ações enzimáticas, perda ou mudança na constituição, especialmente aroma, cor, etc., mudança de textura, devidos à exposição à luz, frio e ao calor, danos ocasionados por microrganismos ou pragas;

b) *propriedades da embalagem em si*: conhecimento de características do produto, condições de estocagem e transporte determinam as necessidades de propriedades de barreira dos materiais de embalagem utilizados para uma determinada aplicação. Propriedades de barreira incluem permeabilidade a gases como O₂ (oxigênio), CO₂ (gás carbônico), N₂ (nitrogênio), etc. e vapor d'água, aromas e luz. Essas são propriedades vitais para manter a qualidade dos alimentos. Os materiais de embalagens são também escolhidos com base em fatores como: processabilidade, propriedades mecânicas (tensão, alongamento, resistência à carga vertical, força de ruptura, etc.), resistência química, física e biológica;

c) *condições de estocagem e distribuição*: Fatores ambientais como temperatura, umidade relativa, intensidade de luz, a que o produto está exposto durante a estoca-

gem e distribuição, deverão ser considerados quando se deseja selecionar um material de embalagem. Danos ocasionados devido ao transporte podem afetar o alimento. Os danos podem ser eliminados com um modelo adequado de embalagem de transporte de acordo com o tipo de produto e uso de uma embalagem adequada.

O conhecimento das propriedades e das vantagens dos materiais disponíveis para embalagens alimentícias é de fundamental importância para a especificação mais adequada do material para um determinado produto (PIERGIOVANNI, 1998).

2.3.1 Algumas das principais propriedades a serem avaliadas na escolha adequada de embalagens plásticas rígidas para alimentos

Além das propriedades citadas a seguir, também são muito importantes para a especificação de embalagem de alimentos, as propriedades de barreira ao vapor d'água e ao oxigênio (apesar de não terem feito parte do escopo do trabalho é importante citá-las neste ítem introdutório).

Propriedades Dimensionais:

a) dimensões

A embalagem, de um modo geral, deve apresentar dimensões uniformes e adequadas para que possa desempenhar suas funções de conter e proteger o produto eficientemente. É importante que fabricante e usuário estejam de acordo quanto às dimensões a serem avaliadas e a forma de medição, bem como as variações dimensionais máximas aceitáveis (SARANTÓPOLOUS et al., 2002).

Devido a um grande número de formatos diferentes das embalagens rígidas fica difícil definir quais os pontos onde as medidas devem ser efetuadas. É importante que sejam levados em consideração aspectos de funcionabilidade e desempenho da máquina de acondicionamento. Há diferentes métodos para executar análises dimensionais, sendo o tipo de embalagem o principal critério a considerar na escolha;

b) espessura

Espessura é um parâmetro muito importante e é utilizado como referência na área de embalagens plásticas rígidas. Pode ser definida como a distância perpendicu-

lar entre as duas superfícies principais de um material. Através da determinação da espessura de uma embalagem plástica rígida é possível avaliar a homogeneidade do material na peça. Nas embalagens rígidas a espessura é variável ao longo das paredes e do fundo, sendo que a caracterização da embalagem quanto à espessura requer amostragem de todas essas regiões.

Variações de espessura de um material implicam em problemas no seu desempenho mecânico em *perda de barreira* (permeabilidade aos gases, vapores e luz) que comprometem o desempenho da embalagem, principalmente para alimentos.

Regiões da embalagem com menor espessura podem resultar em uma menor resistência à pressão interna e/ou perda de desempenho quando ela for submetida a esforços mecânicos como compressão durante o empilhamento, queda durante o manuseio, impacto na linha de enchimento. (ALVES et al., 1998, p. 66).

Para a determinação da espessura total de embalagens plásticas rígidas o CETEA/ITAL recomenda dois métodos, sendo um destrutivo e outro não-destrutivo de acordo com ASTM D 4166-94 (1994 apud ALVES et al., 1998). Para o método não-destrutivo é utilizado um equipamento dotado de sensor magnético e para o método destrutivo é utilizado um micrômetro de ponta esférica. Para os dois casos é necessário o estabelecimento de regiões para a determinação da espessura da embalagem ao longo de sua altura. A norma recomenda, estabelecer, no mínimo, três regiões, de acordo com o *design* da embalagem.

Peso e Capacidade Volumétrica

A avaliação rápida e eficiente da qualidade de um lote produtivo de embalagens plásticas rígidas pode ser efetuada, através da determinação do seu peso e sua capacidade volumétrica.

O peso é uma medida importante visto que permite verificar rapidamente se as embalagens apresentam alguma anomalia na produção que poderia levar a problemas de distribuição de espessura, propriedades mecânicas e/ou de barreira. A determinação do peso de uma embalagem plástica deve ser efetuada em balança de precisão e conduzida em ambiente condicionado.

A capacidade volumétrica (útil e total) de uma embalagem pode ser definida como o volume interno da embalagem determinado a partir da massa de água pura nela contida a uma certa temperatura. Segundo Alves et al. (1998), o CETEA/ITAL

utiliza duas metodologias sendo que numa é utilizada água pura, segundo a norma ISO 8106 de 1985 e a outra metodologia, de acordo com a ASTM D 2911-94(1997) apud (ALVES, et. al., 1998), consiste na adição de um agente tensoativo na água como, por exemplo, detergente, para uma melhor visualização do menisco formado, para atingir o nível de enchimento ou o volume total ocupado pela embalagem. A última também fixa tolerâncias permissíveis para faixas de capacidade volumétrica de embalagens de até 18,9 litros (Veja quadro A do anexo III)

Propriedades Mecânicas

a) Resistência à compressão dinâmica

As variações climáticas podem causar condensação de umidade e enfraquecer as embalagens. Condições de congelamento levam as embalagens a se tornarem frágeis ou quebradiças (GRIFFIN, 1985). O conhecimento das propriedades de compressão de uma embalagem plástica é importante, pois tais propriedades estão associadas com o seu desempenho mecânico em muitas situações, como por exemplo:

- Na proteção do produto acondicionado, pois com a deformação da embalagem e, nos casos mais graves, como seu colapso, a solicitação de compressão é transferida ao produto.
- Na resistência à carga de fechamento da embalagem em máquinas automáticas, como termosoldagem de selos em potes e bandejas, ou no tamponamento de frascos, garrafas e bombonas, etc.
- Na manutenção da integridade mecânica da embalagem durante a estocagem, quando a embalagem plástica contribui para suportar a carga de empilhamento (ALVES et al., 1998, p. 142).

O ensaio de resistência à compressão dinâmica ASTM 2659 95 (1997), apud (ALVES et al., 1998) é conhecido por carga vertical, ou pela expressão inglesa de *top load*. Neste ensaio, é medida a resistência que a embalagem oferece quando submetida à deformação crescente entre dois planos paralelos. A força máxima exercida pela embalagem até sua deformação irreversível é medida em quilograma força (kgf) ou em Newton (N) e a redução da dimensão da embalagem na direção da aplicação desta força é expressa em milímetros (mm). Baseado na experiência do CETEA/ITAL esta metodologia se aplica à determinação das propriedades de resistência à compressão dinâmica não somente para embalagens sopradas como determina a norma ASTM 2659 95 (1997), apud (ALVES et al., 1998), mas também

para potes, copos ou bandejas, desde que as placas de aplicação da deformação tenham dimensões superiores às da embalagem avaliada (ALVES et al., 1998).

b) Impacto por queda livre

O ensaio de resistência ao impacto por queda livre das embalagens é também chamado pela expressão inglesa de *drop test*, que serve para localizar áreas frágeis na embalagem. Ele possibilita uma avaliação global do desempenho da embalagem durante seu manuseio, permite também comparar processos de fabricação, diferentes formatos e/ou materiais quanto à sua resistência mecânica.

A norma ASTM D 2463-95 (1997) apud (ALVES et al., 1998), apresenta duas metodologias diferentes para a execução do ensaio de resistência ao impacto por queda livre, o da altura fixa e o *up and down*.

A escolha do tipo de ensaio a ser utilizado, bem como a definição de variáveis como altura de queda e posição de impacto, dependem de fatores como o conhecimento sobre a finalidade da embalagem, o tipo e a severidade de queda a que a embalagem está normalmente sujeita, condições de manuseio da embalagem e experiência com embalagens similares (ALVES et al., 1998, p. 131).

O teste de queda de altura fixa é o mais utilizado em controle de qualidade por ser mais rápido e utilizar somente uma altura que é definida de acordo com as características de manuseio da embalagem. A posição de impacto deve ser definida de acordo com a posição mais crítica de uso (ALVES et al., 1998). É importante conhecer e identificar as partes frágeis da embalagem (GRIFFIN, 1985).

Paine (1996) recomenda, antes de efetuar o teste de queda em tambores que transportam líquidos perigosos, acondicioná-los a -18°C e lançá-los na altura compreendida entre 1,2-1,8 m. Brown (1992) sugere para testes de queda de embalagens a altura de queda de aproximadamente 1,2 m (4 pés) considerando a altura de uma prateleira.

Propriedades Físicas

a) Avaliação Visual

Avaliação visual de embalagens em geral é muito importante para detectar defeitos quanto ao aspecto de aparência e formação da embalagem. Estes defeitos são decorrentes do processo produtivo e podem prejudicar o desempenho da embala-

gem quanto ao aspecto de maquinabilidade, resistência mecânica e marketing do produto.

A inspeção visual é uma prática muito comum no controle de qualidade das empresas produtoras de embalagens, nos controles de recebimento de embalagens das indústrias de alimentos e bebidas. Dado que nestas últimas, via de regra, os equipamentos são automatizados e o processo de embalagem ocorre a grandes velocidades, qualquer tipo de defeito na embalagem pode ocasionar uma série de transtornos, como perda de produção devido à parada de máquinas. Embalar produtos com embalagens defeituosas não só coloca em risco a qualidade do produto, mas também prejudica a imagem das empresas, pois o consumidor a inspeciona na hora da compra.

O tamanho da amostra a inspecionar por lote varia de acordo com o plano de amostragem adotado para cada empresa, bem como seu NQA (nível de qualidade aceitável) e segue a NBR 5426 (1985). Através de um plano de amostragem é possível avaliar a qualidade de um lote de produção ou de recebimento e detectar possíveis defeitos ocorridos durante o processo produtivo.

Nesta inspeção os defeitos devem ser classificados e identificados como críticos, graves e toleráveis (SARANTÓPOLOUS et al., 2002).

A ASTM D 2562-94 (1997, apud ALVES et al., 1998) padroniza uma terminologia a ser utilizada na avaliação de defeitos visuais para embalagens plásticas rígidas (veja anexo V).

b) Transmissão de luz

É importante lembrar que a luz é composta de ondas eletromagnéticas de vários comprimentos de ondas. Cada cor é representada por um comprimento de onda específico. As ondas com comprimento entre 400 e 780 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) são chamadas de luz visível e percebidas pelo olho humano. Já a faixa de 220-400 nm é conhecida como região do UV (ultravioleta), região invisível pelo olho humano. O mesmo acontece na faixa maior de 780 nm, a região do infravermelho, onde se encontram as ondas de rádio e as microondas, também invisíveis.

A transmissão de luz é uma importante propriedade para a maioria das embalagens de alimentos, pois a luz afeta diretamente a qualidade dos alimentos, catalizando algumas reações de degradação (BROWN, 1992). Barrar a entrada de luz pela embalagem é uma das maneiras de minimizar a perda de qualidade dos alimen-

tos. O efeito da luz solar como também da luz artificial no desenvolvimento de sabor e odor estranhos, na perda de vitaminas, pigmentos e de outros componentes nutricionais tem sido mencionado por muitos autores, por exemplo, Brown (1992), Robertson (1993); Dantas et al.(2000) e Sarantópoulos et al., (2002).

Os produtos lácteos, principalmente o leite líquido, desenvolvem forte odor e sabor de oxidado na presença de luz e oxigênio devido à formação de peróxidos na fase gordurosa. Estes muito instáveis dão origem a outros compostos como aldeídos, cetonas e ácidos graxos de cadeia curta, responsáveis pelo sabor e aroma oxidado. O IDF (*International Dairy Federation*) recomenda que o material de embalagem para o leite deve ter, no máximo, 8% de transmitância a 500 nm e 2% a 400 nm (CHRISTY et al., 1981 e MOTTAR, 1986 apud LEITE, 2003).

A faixa de comprimento de onda mais nociva para alimentos e bebidas é a região do ultravioleta. Muitas das embalagens de bebidas carbonatadas estão disponíveis na coloração verde e âmbar, para barrar os raios ultravioletas prejudiciais, o mesmo acontecendo com garrafas para cervejas que são da cor âmbar. Produtos a base de tomate como molhos ou extratos também são fortemente afetados pela exposição à luz, desenvolvendo uma coloração escura. Por esse motivo, suas embalagens plásticas são pigmentadas.

Os fabricantes de óleos vegetais comestíveis utilizam muitas vezes para seu produto garrafas PET cujo polímero sofre adição de aditivo absorvedor UV. No caso em que as empresas adotam o absorvedor colorido, isto pode ser facilmente percebido na região do gargalo da garrafa que é levemente azulado. O objetivo é bloquear a ação dos raios UV na faixa de 370-380 nm onde ocorre a maior oxidação do óleo de soja na presença de luz. “Estudos têm mostrado que a aplicação dos absorvedores de UV possibilita a redução das taxas de fotoxidação do óleo comestível embalado em garrafas PET” (Polietileno Tereftalato) (MACHADO, 1997 apud COLTRO, 2002). A fig. 2.10 apresenta o efeito conferido com o uso de absorvedor UV em embalagens PET. Como pode ser observado, a embalagem com absorvedor UV continua transparente, porém bloqueando os raios UV. Já a amostra de PET de cor âmbar, bloqueia inclusive parte da luz visível (COLTRO, 2002).

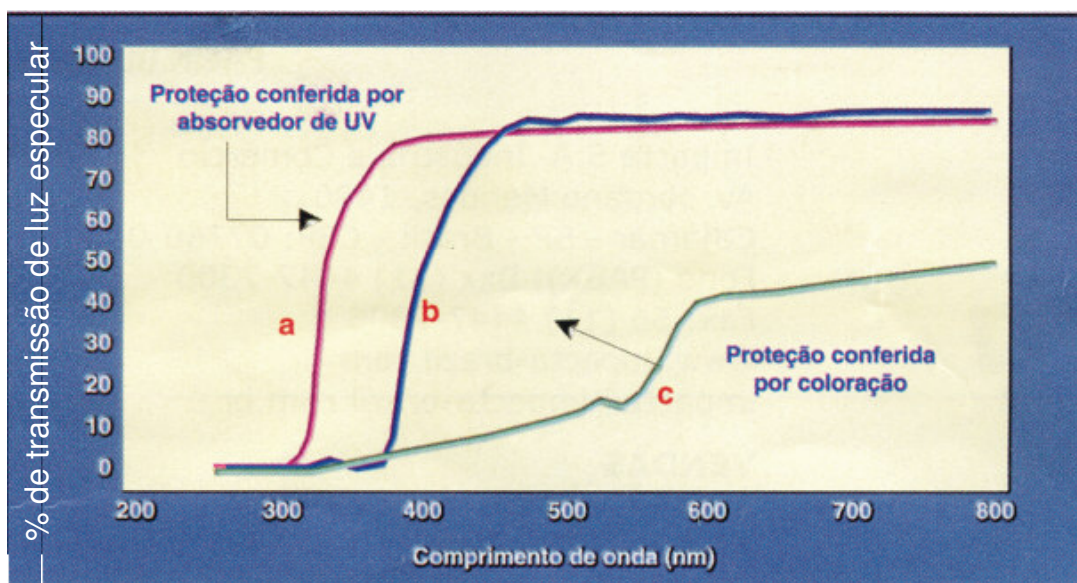


Figura 2.10: Barreira de luz conferida por diferentes tipos de embalagens:
 a) PET padrão, b) PET com absorvedor de UV, c) PET âmbar
 Fonte: COLTRO, 2002

A transmissão de luz também contribui na aparência e funcionalidade das embalagens.

O brilho de uma embalagem expressa sua capacidade em refletir luz incidente.

Os equipamentos e métodos hoje utilizados para avaliação desta propriedade medem o brilho especular, ou seja, a percentagem de luz incidente a um determinado ângulo, refletida em um mesmo ângulo (ângulo de incidência = ângulo de reflexão, vide fig. 2.11) simulando uma superfície plana ideal como por exemplo um espelho perfeito (ASTM D 2457-97, 2001).

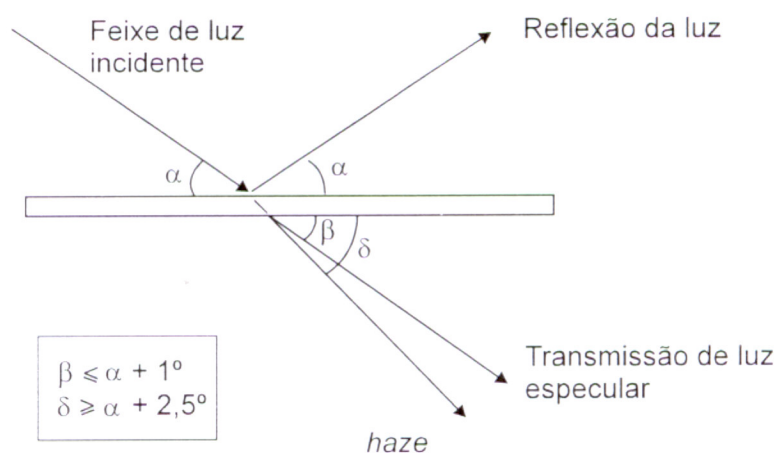


Figura 2.11: Representação esquemática dos efeitos que ocorrem com um feixe de luz ao incidir sobre uma superfície plana
 Fonte: Sarantópoulos et al. (2002, p.210)

A transparência de um material é função de várias propriedades, tais como a transmissão de luz, a transmissão de luz especular e o haze.[...]

A transmissão de luz especular (%TE) é definida como o valor de transmissão obtido quando se mede apenas o fluxo de luz transmitido na mesma

direção do feixe incidente, ou seja, com dispersão menor do que um grau (fig. 2.11) conforme apresentado na equação a seguir:

$$\% TE = \frac{\text{intensidade da luz transmitida sem desvio}}{\text{intensidade da luz incidente}} \times 100 \quad (1)$$

A transmissão de luz especular de um material pode ser correlacionada com a sua capacidade em transmitir uma imagem, sendo, portanto, um indicador do grau de distorção de um objeto quando visto através do material. Assim, quanto maior a transmissão de luz, menor a distorção da imagem (SARANTÓPOULOS et al., 2002, p. 210).

O que foi abordado anteriormente mostra a importância do efeito da luz sobre a deterioração dos alimentos. Conhecendo-se o comprimento de onda que gera maior degradação dos alimentos, pode-se adotar embalagens adequadas para protegê-los. Existem embalagens que oferecem proteção direta absorvendo ou refletindo parte ou toda a luz incidente, dependendo das características de transmissão de luz do material. Outros tipos de materiais que têm a característica de transmitir parte da luz na faixa do visível dão certo grau de proteção na faixa de comprimento de onda do UV. Se a embalagem não possuir esta característica inerente ao material, é necessário o uso de embalagens pigmentadas ou de *coatings* (revestimentos) ou mesmo a aplicação de aditivos absorvedores UV (ROBERTSON, 1993).

A verificação desta característica do material de embalagem é possível com o uso de espectrofotômetros UV-visível de duplo feixe de acordo com a norma ASTM D1746- 97 (2001 apud SARANTÓPOULOS, et al., 2002), fazendo-se uma varredura de 250-780 nm e determinando-se a % TE (transmitância especular) em faixas ou comprimentos de onda específicos.

Propriedades de Interação Produto-Embalagem

Potencial sensorial de alimentos

A embalagem exerce um papel fundamental na manutenção do sabor e aroma dos alimentos e, como consequência, sua vida-de-prateleira.

O sabor e aroma podem ser alterados em função da perda do aroma característico através da permeação pela embalagem, pela oxidação dos componentes do aroma pelo oxigênio do ar que permeia a embalagem e/ou pela absorção de aromas indesejáveis através da permeação pelo material da embalagem (RETENÇÃO, absorção... 1998).

Muitas embalagens, quando em contato com alimento, chegam a conferir odor ou sabor estranho, mesmo quando presentes em níveis de baixo grau toxicológico, restringindo sua aceitação ou vida-de-prateleira. Isso é uma decorrência dos processos de fabricação dos materiais de embalagens a exemplo dos solventes orgânicos dos processos de polimerização de resinas plásticas, e dos processos físicos, laminação e impressão. A literatura tem mostrado também que, por exemplo, no processamento de polietileno de baixa densidade, muitos voláteis podem ser formados devido à degradação termo-oxidativa a 264-289°C e a quantidade formada é função do tempo e da temperatura do processo. Entre os formados têm-se hidrocarbonetos, álcoois, aldeídos, cetonas, ácidos, éteres cíclicos, ésteres cíclicos, etc. (KATAN,1990; ROBERTSON, 1993; PADULA, 1995).

Os produtos alimentícios, de um modo geral, apresentam a sensibilidade variável quanto à contaminação organoléptica causada por substâncias voláteis provenientes dos materiais de embalagem. Os alimentos gordurosos e produtos de aroma suave são os mais vulneráveis a essas alterações.

Existem testes sensoriais que averiguam a presença de odor estranho no material ou a ocorrência de alteração de sabor e odor do alimento resultante do contato com a embalagem. Esses testes sensoriais não determinam a concentração dos contaminantes, porém são essenciais para estabelecer o limite máximo de um contaminante, a partir do qual a migração ocasiona alterações sensoriais perceptíveis e que, muitas vezes, não são detectáveis em análises cromatográficas simples. É importante que os fabricantes de embalagens controlem seus materiais e processos, a fim de que os compostos potencialmente migrantes da embalagem estejam abaixo dos limites em que a migração provoca alterações organolépticas perceptíveis.

Propriedades Químicas

Biodegradação de plásticos

A degradação de polímeros pode resultar da ação de microorganismos, fotodegradação ou degradação química. Nessa revisão será detalhada somente a biodegradação por microorganismos.

A biodegradação de polímeros é um campo novo e emergente. Nos últimos tempos, diversos polímeros biodegradáveis começaram a ser sintetizados, bem como

alguns tipos de microorganismos capazes de degradá-los têm sido identificados. O uso de PHAs para embalagem é uma boa solução para diminuir os resíduos sólidos gerados, principalmente pelas embalagens de alimentos. A biodegradação é um processo natural em que no meio ambiente, produtos orgânicos são convertidos em compostos mais simples, mineralizados e redistribuídos através de ciclos elementares para carbono, nitrogênio e enxofre. A biodegradação pode ocorrer somente dentro da biosfera com atuação direta de microorganismos no processo de biodegradação (CHANDRA e RUSTIGI, 1998).

Nos meios biológicos em que polímeros serão descartados, estão os agentes biológicos para a deterioração de substâncias poliméricas. Os agentes biológicos tais como bactérias, fungos e suas enzimas, consomem o polímero como tipo de alimento, tal que o material original desaparece sem deixar resíduo perigoso ou tóxico para o meio ambiente. Tanto os meios biológicos aeróbios quanto os anaeróbios degradam os polímeros de PHB e PHBV pela ação de enzimas extracelulares secretadas pelos microorganismos. Os produtos finais resultantes dos meios aeróbios são dióxido de carbono, água e biomassa e dos meios anaeróbios são dióxido de carbono, água, metano e biomassa. Nos testes de biodegradação o material de embalagem é exposto a um desses meios, contendo microorganismos, com o objetivo de se medir tempo e taxa de degradação (MARANGONI, 2000; NASCIMENTO, 2001). A fig. 2.12 mostra o Ciclo de Biodegradação do material de embalagem biodegradável de fonte renovável.

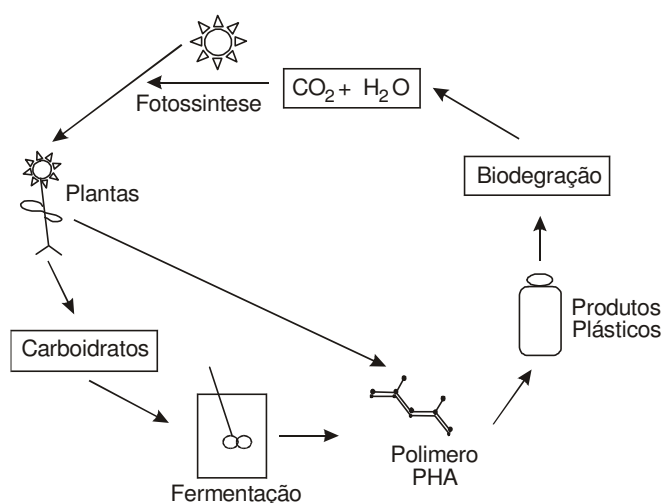


Figura 2.12: Ciclo da biodegradação de um material de fonte renovável e biodegradável

Bactérias e fungos são os principais participantes desse processo. As primeiras pesquisas de degradação por bactérias *Pseudomonas sp* de PHAs (polihidroxicanoatos) começou por volta de 1960. A lista de microorganismos degradadores aumentou muito nos últimos anos. O PHB é um dos polihidroxicanoatos mais conhecidos e é degradado por inúmeros microorganismos em vários ecossistemas (KIM et al., 2000). Trezentos e vinte e cinco microorganismos que degradam o PHB *in vitro* foram isolados dos solos sendo 154 bactérias, 77 estreptomicetos e 94 fungos (SAVENKOVA et al., 2000). Também segundo estes autores, a maior perda de massa de PHB foi registrada na presença de um maior número de fungos (compostagem, turfa e despejos municipais), mostrando a importância dos fungos na degradação dos plásticos. A biodegradação de PHB e seus copolímeros tem sido estudada em ambientes como solos, lodo ativado e água do mar (CHANDRA e RUSTIGI, 1998; KIM et al., 2000; SAVENKOVA et al., 2000).

É importante distinguir a degradação intracelular da extracelular. A degradação intracelular significa a reutilização do material acumulado sob condições em que uma fonte externa de carbono não está mais disponível e deve ser realizada por todos os microorganismos capazes de acumular o PHB e PHBV, por exemplo. Por sua vez, a degradação extracelular é realizada por algumas bactérias e fungos. É importante esta distinção, visto que, por exemplo, a PHB *despolimerase* extracelular é capaz de degradar o PHB em estado altamente cristalino, sendo que a PHB *despolimerase* intracelular só é capaz de degradar grânulos em estado nativo ou amorfo (GOMES e BUENO NETTO, 2001).

A velocidade de biodegradação pode ser influenciada por uma série de fatores como (MARANGONI, 2000; ABOUD-ZEID; MULLER; DECKWER, 2000; REDDY, 2002):

- natureza do polímero;
- tipos de organismos presentes no meio de degradação;
- área superficial;
- temperatura;
- pH;
- umidade;
- disponibilidade de oxigênio;
- suprimento de nutrientes.

Normas técnicas e testes práticos são utilizados para avaliar a biodegradação. Um método padrão oferece uma medida quantitativa de biodegradação com respeito a condições padronizadas, no entanto um procedimento prático gera uma referência ambiental, tal como aterros, compostagem, solos ou ambientes aquáticos, sem fornecer informações quantitativas. A norma europeia CEN 94/62/EEC avalia as propriedades que o material de embalagem necessita ter para se degradar. Isso inclui: biodegradabilidade, desintegração, efeito sobre o processo do tratamento biológico e efeito sobre a qualidade do composto resultante (PETERSEN et al., 1999).

Atualmente são utilizados muitos testes diferentes para se avaliar biodegradação. Estes testes são usados em muitos países sem um critério de padronização. Existem também várias metodologias oficiais utilizadas para se avaliar a biodegradação de biopolímeros. A ASTM (American Society for Testing Materials) e a OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) têm proposto metodologias padrão para este objetivo. A ASTM D5209 apud WOLL(1995), por exemplo, mede a fração de polímero que é convertida em gás carbônico num meio aeróbio aquoso, contendo micróbios. A tendência mundial é padronizar as metodologias de biodegradação, uma vez que o desenvolvimento de materiais biodegradáveis é crescente para embalagens de alimentos (PETERSEN et al., 1999).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Produção do PHB (Poli (ácido 3-hidroxibutírico)) e embalagens injetadas

Esta pesquisa só foi possível graças à colaboração de duas empresas: A PHB Industrial que doou a resina, e a Plasvale que, em suas instalações, fez a injeção de aproximadamente 50 embalagens. A pesquisa transcorreu durante o período de 03 de julho de 2002, até 13 de março de 2003. Ao que tudo indica, até o momento, no Brasil não estão sendo utilizadas embalagens de PHB para alimentos, o que dá caráter de ineditismo à presente pesquisa.

3.1.1. PHB (Poli (ácido 3-hidroxibutírico))

O material PHB utilizado para a produção das embalagens tem como marca registrada BIOCYCLE®, foi produzido pela PHB Industrial Usina da Pedra-Açúcar e Álcool. As propriedades, fluxograma e aspectos produtivos dessa resina aqui no Brasil estão detalhados no item 2.2.2 deste trabalho.

A caracterização química do lote de polímero utilizado neste estudo em comparação com o PHB de produção mais recente pela PHB Industrial é apresentada na tabela 3.1.

As propriedades físicas e mecânicas desses mesmos grades de PHB em comparação com o polímero de PP, grade SMR 6170 utilizado como material de referência neste trabalho são apresentados na tabela 3.2.

Tabela: 3.1: Certificado de análise de lotes diferentes da resina PHB

Lote	Peso molecular kDa	Solvente residual mg/kg	Umidade %	PHB %	PHB V %	Cinzas %	Nitrogênio %	Cristalinidade %
026-08/01	290.000	14,3	0,39	96,7	2,8	0,1	<0,1	52,2
Atual/02	430.000	3,6	0,85	97,9	1,1	0,08	<0,1	59,1

Fonte: PHB Industrial

Tabela 3.2: Valores de propriedades físicas e mecânicas dos de lotes do Poli (ácido 3-hidroxibutírico) PHB comparadas ao PP

Propriedades	Método	Unidade	* PP SMR 6170	PHB L02608/01	Lote Atual
Índice de Fluidez	ASTM D-1238 (230°C/2,16kg)	g/10 min	9,0 a 13,0	43,74	16,38
Densidade	ASTM D-792	g/cm ³	0,900	1,23	1,24
Resistência à Tração	ASTM D-638 (50 mm/min)	MPa	25,0	32,03+/-0,98	35,80+/- 0,54
Resistência ao Impacto IZOD com entalhe, 23°C	ASTM D-256	J/m	55,0 -	13,30+/-4,54	30,00+/- 1,50
Faixa de fusão	ASTM-3418	°C	160-175	173,3	174,7
Módulo de elasticidade em tração	ASTM-D790 (método 1/A)	GPa	0,90	2,71+/-0,08	3,04+/-0,20
Alongamento na ruptura em tração	(ASTM D638)	%		1,89+/-0,13	3,70+/-0,24

Fonte: PHB Industrial

exceto * Dados obtidos do Boletim Técnico - www.polibrasil.com.br

3.1.2. Potes de PHB com tampas

As embalagens utilizadas para os testes de avaliação e adequação do PHB para uso em embalagens para alimentos foram injetadas na empresa Plasvale (Gaspar-SC). Ela produz utensílios domésticos de plásticos injetados, soprados e extrudados, para o mercado brasileiro e também externo. As matérias-primas para a produção de seus produtos são os polietilenos de alta e baixa densidade, o poliéster e o polipropileno, todos derivados do petróleo.

Com uma visão atualizada e inovadora e pensando no futuro, a Plasvale fez a injeção de potes de PHB para a realização dos testes. Foi injetada uma série de amostras de um conjunto de pote com tampa para armazenar alimentos, do polímero biodegradável PHB (Poli (ácido 3-hidroxibutírico)), com moldes de um produto de linha, da referência 331, conforme fig. 3.1.



Figura 3.1: Referência 331

Fonte : <http://www.plasvale.com.br/>

Foram utilizadas duas injetoras distintas para produção das amostras uma para tampa e outra para o pote. Os tipos de injetoras utilizadas e suas características técnicas estão apresentados no quadro 3.1.

Quadro 3.1: Dados das injetoras utilizadas para o teste de injeção de embalagens de PHB

DADOS DO EQUIPAMENTO	POTE	TAMPA
Marca	Chen Hsong Machinery Co. Ltd.	Romi
Modelo	Jetmaster Mark III	Primax 65
Força de Fechamento do molde	128 t	65 t
Capacidade de injeção (PS)	113,4 g	123 g
Volume máximo de injeção	—	134 cm ³
Capacidade de plastificação	—	72 kg/h
L/D	—	20

Nota: L/D (razão comprimento/diâmetro da rosca).

Convém lembrar que nesses equipamentos normalmente são injetados os potes e tampas de PP da referência 331. A resina de PP normalmente utilizada para injeção dessa embalagem é a da Polibrasil SMR 6170, cujas características constam da tabela 3.2.

As condições do processo de injeção de peças de PHB e de PP constam da tabela 3.3 e na tabela 3.4 está a duração do ciclo de injeção de peças em PHB e PP.

Tabela 3.3: Condições de injeção comparativas entre PHB e PP

Variável	PHB	PP
Temperatura Fundido (°C)	160	180
Temperatura Funil (°C)	25	25
Temperatura Alimentação (°C)	130	230
Zona Compressão (°C)	140	250
Zona Mistura (°C)	150	250
Nariz (°C)	160	250
Molde (°C)	10 – 15	10 – 15

Tabela 3.4: Ciclo de injeção dos potes e tampas em PHB e PP

Ciclo de Injeção (s)	POTE		TAMPA	
	PHB	PP	PHB	PP
	15	11	13,8	09

Para a obtenção das amostras de pote em PHB, foram injetados potes sem pigmento, que nesse trabalho serão chamados de PHB natural e potes com 2% de pigmento à base de dióxido de titânio e polietileno de baixa densidade (TiO_2 65 % + 35 % PEBD), que serão chamados de PHB pigmentado. Em outra injetora foram injetadas, inicialmente, amostras de tampa de PHB natural e posteriormente tampas com pigmento à base de dióxido de titânio 2%. A fig. 3.2 mostra a injetora que produziu o pote.



Figura 3.2: Vista da injetora que produziu o pote

3.2 Métodos para avaliar a adequação de embalagens de PHB para alimentos (tabela resumo)

Os potes e as tampas de PHB natural e pigmentado (fig. 3.3, 3.4 e 3.5) foram utilizados em diversos testes para verificar se o material é adequado para uso em embalagens para alimentos. Também foram feitos testes de biodegradação da embalagem em diversos meios, para verificar impactos ambientais do produto depois do descarte e poder compará-las com as embalagens de PP.



Figura 3.3: Potes e tampas de PHB pigmentado e natural



Figura 3.4: Pote de PHB natural



Figura 3.5: Pote de PHB pigmentado

As amostras de PHB natural e pigmentado e de PP (ver fig. 3.6) foram submetidas a ensaios, como caracterização dimensional, avaliação das propriedades mecânicas, caracterização física e avaliação do potencial de interação de embalagem com diversos produtos, ensaios estes resumidos no quadro 3.2.

Quadro 3.2: Resumo dos ensaios realizados com as embalagens de PHB e de PP

Nome do Ensaio	Norma	Objetivo	Equipamento	OBS
Avaliação Dimensional	CETEA/ITAL	Determinar a contração da resina no molde de injeção e avaliar o processo produtivo	Paquímetro	
Espessura	CETEA/ITAL	Determinar a distribuição do material	Micrômetro	
Capacidade Volumétrica	CETEA/ITAL	Determinar a contração da resina no molde de injeção e avaliar o desempenho do processo produtivo	Balança	Adaptado da ISO 8106, 1985, ASTM D 2911-94(1997)
Peso	CETEA/ITAL	Determinar a massa da embalagem	Balança	
Compressão Dinâmica	ASTM 2659 95 (1997)	Determinar a resistência frente a diferentes condicionamentos e manuseio	Máquina Universal de Ensaios	
Impacto por Queda Livre	ASTM D 2463-95 (1997)	Determinar a resistência à queda livre e regiões frágeis	Base de concreto	
Avaliação visual (aparência)	CETEA/ITAL ASTM D 2562-94(1997)	Detectar falhas no processo produtivo	Fonte de luz branca	
Transmissão de Luz Especular	CETEA/ITAL	Avaliar a barreira à luz no espectro UV e visível	Espectrofotômetro UV/visível	Adaptado da ASTM D1746-97(2001)
Avaliação do potencial contaminação sensorial de alimentos	ASTM, ABNT CETEA/ITAL	Avaliar o potencial da embalagem transmitir odor e sabor aos alimentos	Painel de Avaliadores	
Biodegradação	Teste Prático	Avaliar o potencial de biodegradação de PHB em diferentes meios	Balança, Estufa e Peagâmetro	



Figura 3.6: Amostras dos potes de PHB natural, pigmentado e de PP

Os métodos de ensaio utilizados foram os recomendados pelo CETEA/ITAL (Centro de Tecnologia de Embalagem do Instituto de Tecnologia de Alimentos) baseados em normas oficiais, principalmente na ASTM (American Society for Testing

and Materials) para avaliação dos principais tipos de embalagens plásticas rígidas como bandejas, copos, frascos, garrafas e potes.

Convém ressaltar que todos os ensaios conduzidos neste trabalho com amostras de pote e tampas foram realizados após estabilização (72 horas da injeção). As amostras ensaiadas foram condicionadas à temperatura ambiente (sem controle de temperatura e umidade) no mesmo ambiente da execução dos ensaios, exceto nos casos em que o método requer condicionamento especial da amostra. O termo *temperatura ambiente* refere-se à temperatura na faixa de 20-30°C (ASTM D618-96 a-pud ALVES, et al., 1998). Os resultados dos testes, as discussões e as conclusões se encontram no capítulo 4.

3.2.1. Caracterização dimensional

Avaliação Dimensional

Objetivando conhecer a contração da resina de PHB no molde de injeção para se determinar as dimensões finais da embalagem e comparar o desempenho produtivo de diferentes materiais, potes de PHB natural e pigmentado e de PP, foram submetidos à avaliação dimensional e os resultados comparados entre si. A metodologia foi descrita por Alves et al., (1998) e o instrumento de medição utilizado foi em paquímetro (conforme anexo 3.1). Foram utilizadas 10 unidades de potes para cada tipo de material e medidas duas dimensões: a largura e o comprimento internos, conforme fig. 3.7.

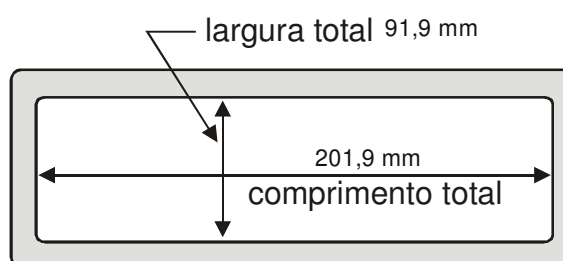


Figura 3.7: Dimensões internas de pote e tampa

Espessura

Para comparar o desempenho dos materiais no processo produtivo, amostras de embalagens (potes com tampa) de PHB natural e pigmentado e de PP foram caracterizadas quanto a sua espessura em diferentes regiões. O método de ensaio utili-

zado foi o destrutivo de acordo com a metodologia descrita por Alves, et al., (1998). As amostras foram testadas em quintuplicata e determinadas suas espessuras através de um micrômetro (anexo I) em quatro regiões distintas para o pote e três regiões distintas para a tampa, conforme indica a fig. 3.8. Para cada região definida foi realizada a determinação da espessura em três pontos eqüidistantes.

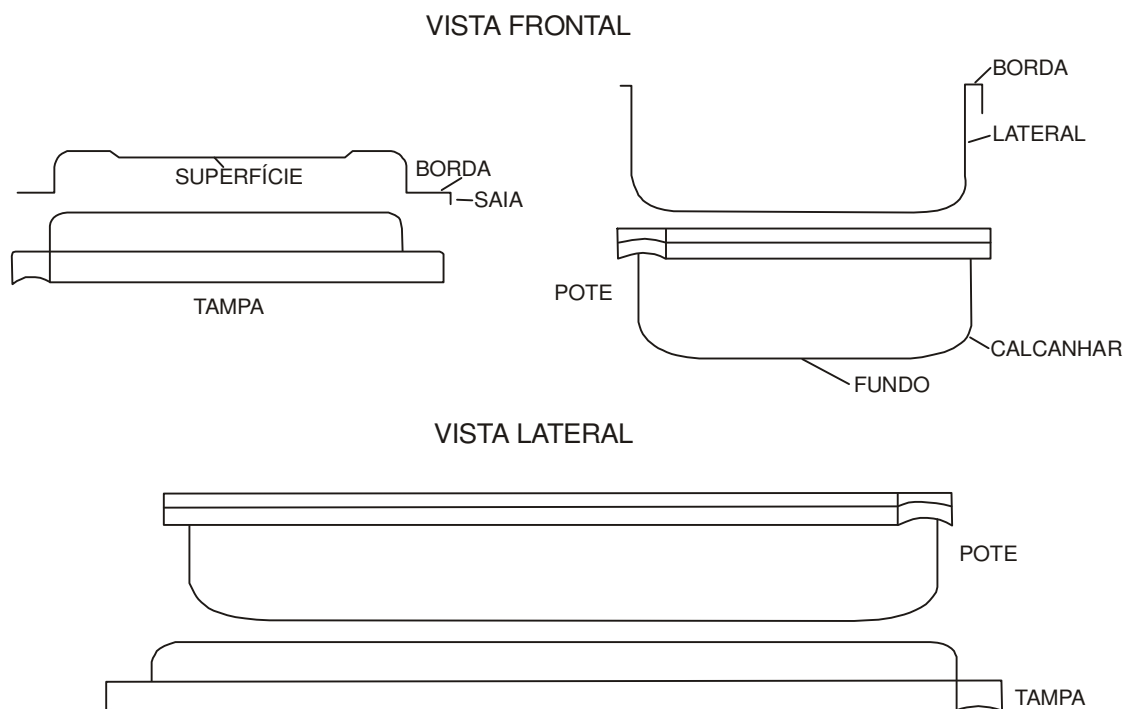


Figura 3.8: Indicação das regiões onde foram medidas as espessuras do pote

Peso e Capacidade Volumétrica

Com o objetivo de se comparar o desempenho e o rendimento no processo produtivo, amostras de embalagens (potes e tampas) de PHB natural e pigmentado e de PP foram submetidos ao ensaio de determinação de peso. Foram utilizadas balança de precisão de 0,01g (Anexo I) e submetidas ao ensaio 10 unidades amostra.

Os potes injetados de PHB natural e pigmentado e de PP com capacidade volumétrica útil de 500 ml também foram submetidos ao ensaio para a determinação de sua capacidade volumétrica total. O principal objetivo desse ensaio foi conhecer a capacidade volumétrica total para a comparação de desempenho dos diferentes materiais. A amostra foi cheia com água pura e foi usado o termômetro para a determinação da temperatura, de acordo com a norma ASTM D 2911-94 (1997, apud AL-

VES, et al.,1998). Para calcular a capacidade volumétrica total, utilizou -se a seguinte fórmula:

$$E_v=(E_c-E_f)/\rho \quad (2)$$

onde:

E_v = capacidade volumétrica da embalagem em (ml)

E_c = peso da embalagem cheia (g)

E_f = peso da embalagem vazia(g)

ρ = densidade da água na temperatura de ensaio (g/cm^3)

A temperatura da água no momento do ensaio foi de 22°C e a densidade da água correspondente a essa temperatura é de 0,99674 g/cm^3 , obtida através da tabela A apresentado no Anexo III. Esse valor foi utilizado para cálculo da capacidade volumétrica total.

3.2.2. Avaliação das Propriedades Mecânicas

Resistência à compressão dinâmica

Para definir as especificações, aplicações e condições de uso das embalagens, é de fundamental importância conhecer sua resistência à compressão dinâmica. Com esse objetivo, simulando dessa forma as condições reais de uso, as embalagens conjunto pote com tampa de PHB natural, PHB pigmentado e PP foram submetidas ao ensaio de resistência à compressão dinâmica, após terem sido armazenados em diferentes temperaturas e condições de manuseio. Para o ensaio de resistência à compressão dinâmica foram utilizados quatro grupos de cinco unidades de cada material. Cada grupo de amostra foi submetido a condições distintas de temperatura ou manuseio. O primeiro grupo foi condicionado em temperatura ambiente durante 14 dias, enquanto que o outro grupo permaneceu condicionado numa estufa bacteriológica sem circulação de ar (anexo I), à temperatura de $55\pm 5^\circ\text{C}$ pelo mesmo período de tempo. O terceiro grupo foi condicionado em Refrigerador Side by Side (anexo I) por 7 dias em cada uma das temperaturas: $-18\pm 5^\circ\text{C}$ (freezer) e $6\pm 2^\circ\text{C}$ (geladeira). O quarto grupo de unidades foi submetido a condições de uso cotidiano, como durante um período de 14 dias. Em seu interior foram armazenados alimentos e condicionados em geladeira e freezer e também submetidos a aquecimento e descongelamento em microondas. As embalagens também foram submetidas à operação de limpe-

za, utilizando-se a lavação manual e também a lavadora de louças. Por se tratar de uso cotidiano, as amostras não seguiram a uma seqüência de uso. As etapas em que cada unidade de amostra foi submetida foram identificadas através de um registro para garantir que todas as unidades fossem submetidas à todas as etapas de uso, pelo menos três vezes, durante o período de testes.

Sarantópoulos et al. (2002) colocam que nos casos em que as amostras foram armazenadas ou condicionadas em condições diferentes da do padrão, a norma ASTM D 618-00 (2001) estabelece que elas fiquem condicionadas nas condições de ensaio, não ultrapassando o tempo de 5 horas. Antes da realização do ensaio de compressão dinâmica, todas as amostras permaneceram acondicionadas por 1 hora em atmosfera padrão de ensaios plásticos $23\pm 5^{\circ}\text{C}$ e $50\pm 5\%$ UR conforme NBR 7452 (1982 apud ALVES et al., 1998) e ASTM D 618-00 (2001, apud SARANTÓPOULOS et al. 2002) e foram ensaiadas nestas condições.

O ensaio de resistência à compressão dinâmica foi realizado, medindo-se a resistência oferecida pela embalagem quando submetida à deformação crescente entre dois planos paralelos. A força máxima exercida sobre a embalagem até sua ruptura foi medida em quilograma força (kgf) e a redução da dimensão da embalagem, na direção da aplicação desta força foi expressa em milímetros (mm). Os três tipos de embalagem condicionados nas diferentes temperaturas e condições de manuseio descritas anteriormente, foram ensaiados em quintuplicata num total de 60 unidades, utilizando-se o equipamento Máquina Universal de Ensaio, com célula de carga de 100 kgf (anexo I). O método de ensaio foi baseado na ASTM D 2659-95 (1997 apud ALVES et al., 1998). A velocidade de ensaio mantida em todo o evento foi de 25 mm/min. (veja anexo IV).

Resistência de embalagens ao impacto por queda livre

As embalagens de PHB natural e de PP que tinham sido armazenadas em Refrigerador Side by Side e continham gelo, foram submetidas ao ensaio de queda em quintuplicata, de acordo com a norma ASTM D 2463 – 95 (1997 apud ALVES, et al., 1998) à altura fixa de 1,5 m. Para a definição da altura de queda para o ensaio usou-se como referência à altura da prateleira do freezer de um Refrigerador Biplax. A posição de impacto na queda foi a horizontal, batendo o fundo do pote contra a base rígida de concreto.

As embalagens, após terem sido submetidas ao teste de resistência ao impacto por queda livre de altura fixa, foram examinadas criteriosamente.

3.2.3 Avaliação física

Avaliação visual (aparência)

A inspeção visual dos potes e tampas de PHB natural e pigmentado foi realizada em 100 % do lote produzido e por se tratarem de poucas unidades, não se utilizou plano de amostragem. O objetivo do teste foi detectar problemas ocorridos no processo produtivo. O procedimento utilizado foi de descrito por Alves, et al.,(1998). O enquadramento dos defeitos foi feito de acordo com o anexo V e eles foram posteriormente classificados conforme sua intensidade em tolerável, grave e crítico. A detecção de um defeito foi suficiente para classificar potes e tampas como defeituosos.

Transmissão de luz especular

As amostras de PHB natural, pigmentado e de PP foram ensaiadas para a avaliação da transmissão de luz especular, objetivando conhecer a barreira desses materiais na faixa da luz UV-visível. Foram utilizados três corpos de prova para cada tipo de amostra a ser caracterizada, obtidos de regiões diferentes da embalagem e de unidades distintas, condicionadas por 1 hora no mesmo ambiente do ensaio. A metodologia utilizada foi a descrita por Sarantópoulos et al., (2002) e o equipamento utilizado foi o espectrofotômetro UV-visível de duplo feixe (anexo I) ajustado para a faixa de varredura de 250-750 nm. As leituras foram feitas a 250, 350, 450, 650 e 750 nm e foi registrada a transmitância especular máxima em cada um destes comprimentos de onda.

3.2.4. Avaliação da interação produto-embalagem

Avaliação do potencial de alteração sensorial de alimentos

As embalagens injetadas da resina BIOCYCLE® de PHB também foram submetidas a vários testes para avaliação do potencial de alteração sensorial de alimentos, tendo como principal objetivo avaliar sua adequação para uso como embalagem de alimentos. Foram realizados cinco testes de análise sensorial. A metodologia dos ensaios para avaliação de odor de materiais e sua potencialidade em transferir odor e sabor estranho para alimentos utilizada foi adaptado a partir do método descrito por SARANTOPÓULOS, et al., (2002), baseada nas normas ASTM E 1870-98(2001) e da ABNT NBR 13177(1994). Um dos testes realizados foi para avaliação do odor (intensidade de odor) e outros quatro foram realizados para avaliação da potencialidade de contaminação sensorial utilizando-se de quatro simulantes diferentes: água, requeijão, margarina e maionese. A justificativa para o uso desses quatro simulantes foi a averiguação da possibilidade de uso de embalagens de PHB em: a) Água mineral e alimentos aquosos; b) Requeijão por se tratar de um alimento com certo teor de gordura, mas de aroma suave; c) Margarina e maionese por se tratar de dois alimentos com alto teor de gordura em que quaisquer alterações sensoriais seriam facilmente perceptíveis. Seguem abaixo informações relevantes sobre os simulantes utilizados nos testes de avaliação sensorial.

Dados do simulante água: foi utilizada água mineral sem gás para a avaliação de odor e sabor e também para o “tira gosto” durante a avaliação sensorial com alimentos (simulantes).

Dados do simulante margarina: foram adquiridos dois potes (PP) de margarina de 500 g Marca Franciscano de mesma data de fabricação conforme mostra a fig. 3.9. O conteúdo de um dos potes foi transferido para a embalagem de PHB o outro pote foi mantido com seu conteúdo original ambos guardados em geladeira por dois meses até a avaliação sensorial dos produtos.



Figura 3.9: Rótulo da margarina usada na análise sensorial

Dados do simulante maionese: foram adquiridos dois vidros de maionese 500 g Marca Hellmann's de mesma data de vencimento 27/11/02, lote: 11:02 conforme impresso no vidro e rótulo como mostra a fig. 3.10. O conteúdo de um dos vidros foi transferido para a embalagem de PHB e o outro foi mantido e ambos foram guardados em geladeira por dois meses até a avaliação sensorial do produto.



Figura 3.10: Rótulo da maionese usada na análise sensorial

Dados do simulante requeijão: foram adquiridos três copos de vidro com requeijão 250 g Marca Santa Rosa, todos da mesma data de fabricação conforme mostra a fig. 3.11. O conteúdo de dois copos foi transferido para a embalagem de PHB e o outro copo foi mantido. As amostras foram guardadas em geladeira por 24 horas até sua avaliação sensorial. Por se tratar de um produto perecível optou-se por um tempo menor de contato entre embalagem e produto. A ASTM E-1870-98 apud Sarantópoulos, et al., (2002) recomenda um tempo mínimo de contato de 16-24 horas.



Figura 3.11: Rótulo do requeijão usado na análise sensorial

Para a execução de todos os ensaios de avaliação sensorial tomou-se como suporte técnico-científico as seguintes normas da ABNT:

- NBR 12994 - Métodos de análise sensorial dos alimentos e bebidas;
- NBR 12995 - Teste triangular em análise sensorial dos alimentos e bebidas;
- NBR 12806 - Análise sensorial dos alimentos e bebidas;
- NBR 13170 - Teste de ordenação em análise sensorial;
- NBR 14141 - Escalas utilizadas em análise sensorial de alimentos e bebidas.

Todas as amostras durante o período em que ficaram acondicionadas em geladeira foram envoltas com papel alumínio para proteção contra perda de voláteis e para evitar absorção de odores estranhos ao produto presentes na geladeira. Todos os ensaios de avaliação sensorial foram realizados em ambiente livre de odores, silencioso e à temperatura ambiente.

Teste 1 – Avaliação da intensidade de odor do material

Amostras de tampas de PHB e de PP foram cortadas e transformadas em corpos de prova de 0,3 m² de área e colocadas individualmente, em frascos de vidro com tampa de 250 ml cheios com água mineral e aquecidos a 50 °C por uma hora, resfriados e depois mantidos em temperatura ambiente por 24 horas. Esse mesmo pro-

cedimento foi realizado com frascos sem amostras contendo somente água mineral que foram chamados de padrão. Para este teste foram utilizados 12 provadores que receberam, individualmente, duas amostras com frascos fechados, uma de PHB e outra de PP, codificadas e mais um frasco sem corpo de prova, identificado como padrão. Cada provador recebeu uma ficha teste reproduzido no anexo IX em que anotou a intensidade de odor estranho percebido, de acordo com a escala abaixo:

1. nenhum odor estranho;
2. muito ligeiro;
3. ligeiro;
4. moderado;
5. moderadamente forte;
6. forte;
7. muito forte.

Os resultados das avaliações realizadas pelos provadores, (transcritos na tabela A do Anexo VII); foram analisados por Análise de Variância (ANOVA) e teste de média Dunnett, comparando-se apenas o padrão com todas as outras amostras. O nível de significância adotado foi de 5% de acordo com o que sugere a metodologia.

Teste 2 – Avaliação da intensidade de contaminação sensorial de Alimentos - Método direto - Teste triangular expandido

A avaliação do potencial de contaminação sensorial das amostras de potes com tampa de PHB que tiveram contato direto com quatro simulantes diferentes foi feita com um painel sensorial composto por 13 provadores para os simulantes maionese, margarina, requeijão e de 12 provadores para o simulante água. O ensaio foi conduzido em triplicata para cada simulante. Para avaliação desses simulantes foi utilizado o teste Triangular Expandido, em que são apresentadas três amostras para cada provador, sendo duas iguais e uma diferente. Nesse teste existe a necessidade da amostra e o padrão serem avaliados em igual número pelos provadores. É solicitado ao provador que identifique a amostra diferente e classifique a intensidade da diferença entre as amostras codificadas de acordo com a escala (ISO 4120, 1983 apud SARANTÓPOULOS, et al., 2002):

1. nenhuma diferença;
2. muito fraca;
3. moderada;
4. forte;
5. muito forte.

A ficha utilizada é apresentada no teste Anexo VIII para classificar a intensidade das diferenças. O nível de significância adotado para avaliar os resultados foi de 5%, de acordo com o que sugere a metodologia do CETEA, descrito por Sarantopóulos, et al., (2002). As médias dos resultados foram comparadas por meio do teste de Diferença Mínima Significativa (LSD) ver tabela F (anexo IX).

3.3 Testes de Biodegradação

Foram realizados testes práticos de biodegradação com embalagens de PHB, com o objetivo de se conhecer a taxa de biodegradação em oito meios diferentes. Foram utilizadas somente amostras de PHB natural, com o objetivo de facilitar a avaliação dos resultados.

As amostras de PHB natural utilizadas no teste de biodegradação foram obtidas do fundo e da lateral dos potes e da superfície da tampa, ver fig. 3.8. Cortadas em formato uniforme nas dimensões 30 x 30 mm e com espessura de $1,24 \pm 0,3$ mm, foram identificadas e pesadas individualmente em balança analítica (vide quadro) após terem sido condicionados à temperatura ambiente por 1 hora. A média da massa das amostras ficou em $1,34 \pm 0,3$ g. Reunidas e identificadas em grupos de cinco amostras (quintuplicata) foram enterradas/submersas em oito meios diferentes, cujos pHs iniciais foram medidos e registrados (quadro 3.3).

A intervalos regulares de tempo de aproximadamente 30 dias um conjunto de amostras foi retirado de cada meio. Elas foram lavadas com água corrente e esponja macia para retirada de resíduos e secas em estufa à 40 ° C por duas horas e acondicionadas por uma hora à temperatura ambiente e pesadas. As amostras acondicionadas na caixa de gordura (Meio VII) foram lavadas com detergente neutro e enxaguadas com água corrente, obedecendo ao mesmo roteiro de secagem e condicionamento das demais amostras. Para avaliação da taxa de biodegradação de ca-

da meio, o resultado obtido da massa da amostra foi comparado com a massa da amostra original. A biodegradação das amostras também foi documentada através de fotos. Além da determinação mensal da perda de massa também foram determinados os pHs de cada meio, bem como levantados os dados de temperatura média e índice pluviométrico do período correspondente, fornecidos pelo IPA/FURB (Instituto de Pesquisas Ambientais da Fundação Universidade Regional de Blumenau) e que constam nos dados do experimento (anexo X).

Quadro 3.3: Identificação dos meios em que foram realizados os testes de biodegradação das amostras de PHB natural

Meio	Descrição	pH _{inicial}
Meio I	Caixa d'água de uma residência: água potável tratada da SAMAE (Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto/Blumenau).	8,49
Meio II	Esterco compostado de cama de aviário (fig. 3.12).	8,29
Meio III	Resíduos domésticos: Resíduos orgânicos de uma residência com cascas de legumes, restos de alimentos, etc., despejados diariamente em local apropriado (fig. 3.12).	8,35
Meio IV	Terra de jardim: (veja tabela A "Valores percentuais dos componentes de terra de jardim" do Anexo VIII e locais do teste (fig. 3.12)).	6,64
Meio V	Lodo do reator anaeróbio: Proveniente do tratamento de esgoto da SAMAE/BL, veja local do experimento (fig. 3.13). Como pode ser observado através da figura, esse Meio imita as condições reais que ocorrem com o lodo proveniente de reator anaeróbio permanecendo 180 dias no reator e posterior secagem por 60 dias em ambiente coberto, para posterior envio ao aterro sanitário. Porém, no caso do experimento, o lodo permaneceu um tempo maior em contato com as amostras, num total de 180 dias.	7,05
Meio VI	Água do rio: Experimento realizado às margens do Ribeirão Garcia fundos da SAMAE/BL (fig. 3.14).	7,27
Meio VII	Caixa de Gordura Cantina do Campus II FURB (fig. 3.15).	4,5
Meio VIII	Fossa séptica do Bloco D Campus II da FURB (meio anaeróbio).	8,95



Figura 3.12: Vista do local dos Meios II, III e IV



Figura 3.13: Local do Meio V – Lodo do Tratamento de Esgoto



Figura 3.14: Local do Meio VI – Margens do Ribeirão Garcia



Figura: 3.15: Local do Meio VII – Caixa de gordura da cantina da FURB

É importante salientar que não fazia parte do escopo desse trabalho levantar tipos de microorganismos mais adequados para a biodegradação e sim identificar quais os meios mais adequados bem como as taxas de biodegradação do material nesses meios, considerando que a biodegradação depende de uma série de fatores como a natureza do polímero, tipos de organismos presentes no meio de degradação, a área superficial, a temperatura, o pH, a umidade e a disponibilidade de oxigênio e de nutrientes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir inicia-se a apresentação dos resultados dos testes realizados de acordo com as descrições apresentadas no capítulo 3. Estes resultados serão apresentados em forma de anexos, figuras (fotos), tabelas, gráficos, textos explicativos e discutidos na seqüência da apresentação deles.

4.1 Produção de PHB (Poli (ácido 3-hidróxibutírico)) e de Embalagens

Os dados das tabelas 3.1 e 3.2 do capítulo 3 descreveu as características e propriedades físico-químicas e mecânicas dos polímeros utilizados neste estudo. Como é possível observar nas tabelas, há diferenças entre os dados, do PHB utilizado no estudo e do lote mais recente, o que se deve ao fato da empresa estar ainda aprimorando o polímero. O menor peso molecular explica a dificuldade encontrada no processamento do material na injeção, havendo degradação do produto e produção de muitas embalagens defeituosas. A inspeção visual realizada nas embalagens retrata essa dificuldade e lá discutem-se as limitações do polímero e também do processo de injeção. Os dados do lote mais recente demonstram que o fornecedor do polímero de PHB está melhorando seu produto. No caso do solvente residual ainda se percebe um grau de dificuldade em baixar ou eliminar este resíduo. O teor de solvente residual pode levar a um forte odor transmitido pelo produto, prejudicando a sua aceitabilidade nos mais diversos segmentos do mercado, principalmente na área de embalagens para alimentos. Os resultados da análise sensorial das embalagens refletem esse problema.

Com a tabela 3.2 é possível observar que o lote utilizado para a injeção das amostras estava com alguns parâmetros muito diferentes se comparados com os do PP, por exemplo o elevado índice de fluidez do material o que explica algumas dificuldades na produção das amostras. O PHB atual tem menor índice de fluidez, maior resistência à tração, maior rigidez e maior resistência ao impacto que o grade de PHB utilizado no estudo. O que em situações futuras, facilitará bastante o processamento do material, podendo-se esperar que as amostras obtidas estariam com propriedades bem mais próximas das do PP.

No processo de obtenção das amostras, trabalhou-se com a água de refrigeração do molde na faixa de 20 °C em virtude do processo de injeção de PP não utilizar dispositivo de aquecimento. Com isso obteve-se ciclos de injeção superiores aos do PP, tanto para os potes como para as tampas. Para minimizar os tempos de ciclo da produção de peças de PHB, sugere-se um aquecimento no molde da ordem de 55-65 °C ao invés de se trabalhar com moldes de água gelada a 5°C, pois assim permite-se ao material uma maior taxa de cristalização com conseqüências diretas sobre suas propriedades termomecânicas (NASCIMENTO, 2001). Outro fator que pode ter gerado ciclos de injeção altos foi a utilização do mesmo molde em que se injeta embalagens de PP. Utilizou-se molde de somente uma cavidade tanto para a injeção do pote como da tampa (fig. 4.1).

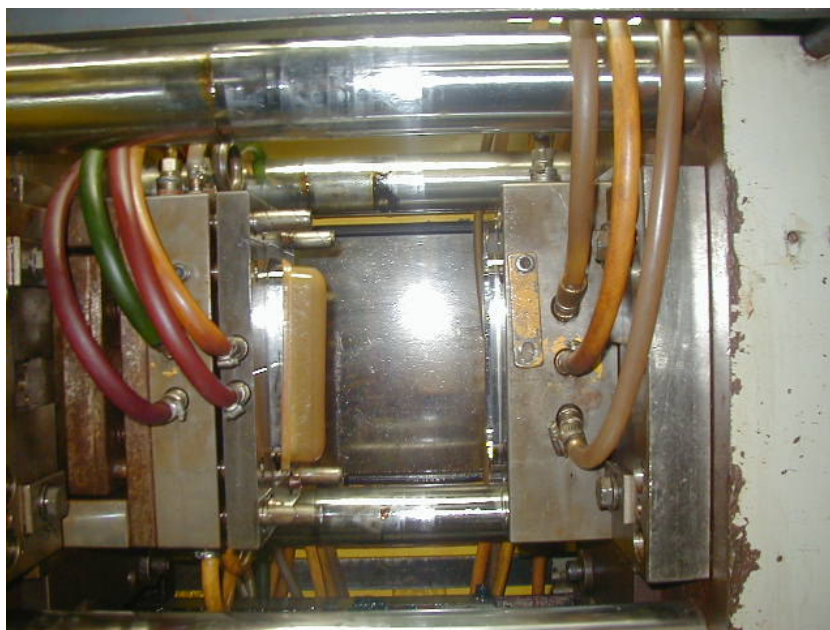


Figura 4.1: Vista da abertura do molde e extração do pote

Durante o processo de produção das amostras foram observadas algumas características de aparência dos produtos finais que podem ser explicadas em função do processo de injeção utilizado. A avaliação dos defeitos e características das amostras geradas serão mais bem discutidas e avaliadas no item 4.2.3 inspeção visual das amostras, relacionando-se o polímero, as condições de processo e o molde com os defeitos.

4.2 Avaliação de Embalagens de PHB para Uso em Alimentos

4.2.1 Caracterização dimensional

Avaliação dimensional

Os resultados das medições individuais estão na tabela A do anexo II e as médias dos resultados estão apresentados no gráfico 4.1, que mostra a média das dimensões de comprimento e largura interna dos potes dos diferentes materiais e as medidas do molde. Pode-se observar diferentes graus de contração dos polímeros em relação às medidas do molde, o comprimento interno de peças de PP encolheu 3,2 %, de PHB natural 3,81 % e de PHB pigmentado 4,46 %. Na largura interna do pote a contração do polímero de PP foi de 7,83 %, do PHB natural 7,73 % e do PHB pigmentado 9,36 %. Caso se queira manter as dimensões iguais às do pote de PP, há a necessidade de se utilizar um molde próprio para o polímero de PHB; porém é cedo para especificar o molde, foi falta ainda otimizar o processo e o polímero utilizados.

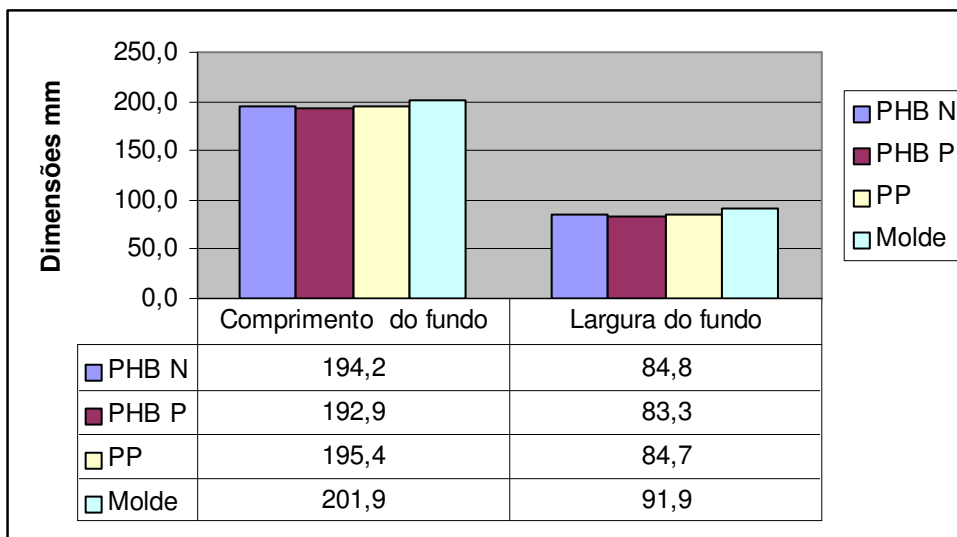


Gráfico 4.1: Dimensões internas dos potes

Espessura

O resultado das médias das determinações das cinco amostras de cada região está na tabela 4.1 e no gráfico 4.2 para o pote e na tabela 4.2 e no gráfico 4.3 para a tampa. Os resultados individuais da espessura dos potes e tampas estão nas tabe-

las B, C e D, e gráficos A, B, C e D, para as tampas estão nas tabelas E, F e G e gráficos E, F e G, do anexo II.

Tabela 4.1: Distribuição da espessura em regiões do pote

Região	Tipo de Material	Média mm	Desvio. Padrão	Mínimo mm	Máximo mm
Fundo	PHB natural	1,34	0,0780	1,26	1,45
	PHB pigmentado	1,27	0,0600	1,26	1,37
	PP	1,27	0,0168	1,26	1,30
Calcanhar	PHB natural	1,44	0,0597	1,37	1,46
	PHB pigmentado	1,40	0,0720	1,33	1,47
	PP	1,45	0,0110	1,43	1,45
Lateral	PHB natural	1,43	0,0701	1,34	1,51
	PHB pigmentado	1,01	0,0114	1,00	1,03
	PP	1,09	0,2106	0,94	1,46
Borda	PHB natural	1,37	0,0498	1,31	1,40
	PHB pigmentado	1,48	0,0206	1,27	1,73
	PP	1,36	0,0559	1,29	1,40

Tabela 4.2: Distribuição da espessura em regiões da tampa

Região	Tipo de Material	Média mm	Desvio Padrão	Mínimo m	Máximo mm
Superfície	PHB natural	0,95	0,0071	0,94	0,96
	PHB pigmentado	1,09	0,0596	1,03	1,09
	PP	0,95	0,0152	0,95	0,98
Borda	PHB natural	1,00	0,0292	0,98	1,00
	PHB pigmentado	1,07	0,3962	1,03	1,07
	PP	0,97	0,0158	0,95	0,99
Saia	PHB natural	1,46	0,0524	1,40	1,53
	PHB pigmentado	1,15	0,1647	1,01	1,35
	PP	1,39	0,0662	1,29	1,46

Para os três materiais avaliados, as espessuras dos potes no fundo e no calcanhar são muito próximas. As laterais são mais espessas no pote de PHB natural enquanto que as bordas têm espessura maior no pote de PHB pigmentado. A diferença destas espessuras em relação às do pote de PP, para cuja fabricação o processo estava ajustado e o molde adequado, é significativa, apenas nas laterais (cerca de 40%).

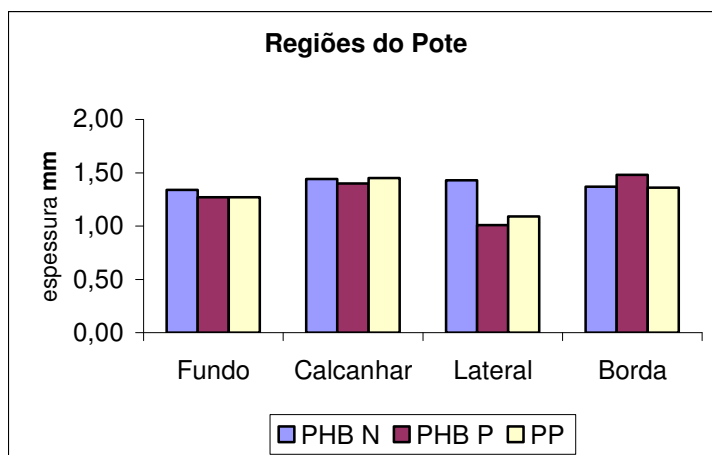


Gráfico 4.2: Média da espessura em regiões do pote

Houve maior variação de processo na produção das tampas de PHB pigmentado, também comprovado pelo maior desvio padrão das determinações das amostras analisadas. Nas regiões da superfície e borda da tampa sua espessura está superior à das tampas de PP e PHB natural, e na região da saia está menor. O alto índice de tampas de PHB pigmentado empenadas e a inspeção visual corroboram com estes resultados. O não domínio do processo de injeção do novo polímero, o molde próprio para o PP e a introdução de mais uma variável - o pigmento - pode ter contribuído para essa variação.

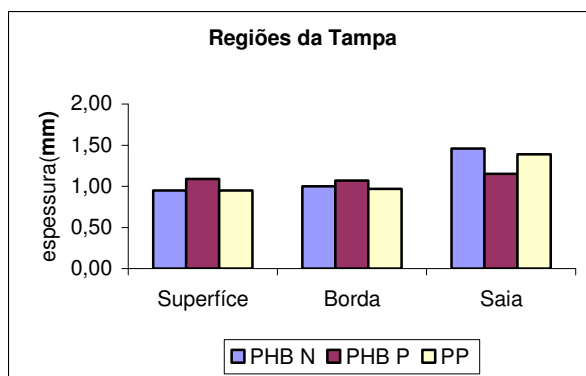


Gráfico 4.3: Determinação de espessura em regiões da tampa

Não se pode dizer se a espessura das peças em PHB deve ser menor, igual ou superior a das peças em PP, pois são polímeros com características distintas. De qualquer forma é preciso ajustar as variáveis do processo de injeção às características do PHB, que podem ser ainda diferentes quando se usa PHB pigmentado. Também o molde deve ser otimizado para produzir potes e tampas de forma ótima com espessura mínima que atenda aos requisitos obrigatórios da embalagem. Isso requer ainda muito estudo e experimentação.

Peso e capacidade volumétrica

O gráfico 4.4 expressa os valores das médias para potes e tampas. Os resultados das determinações individuais de peso (massa) está na tabela H do anexo II.

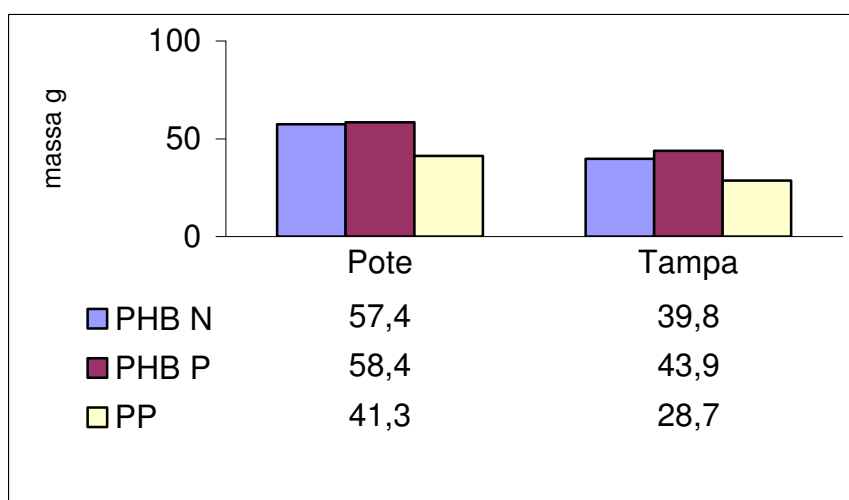


Gráfico 4.4: Comparativo de massa

A diferença do peso em torno de 40 % superior para potes e tampas de PHB natural em comparação com PP deve-se à diferença de densidade entre esses materiais. Segundo a tabela 3.2, a densidade do PP é de $0,90 \text{ g/cm}^3$ e do PHB natural, é $1,23 \text{ g/cm}^3$. Com estes dados, é possível concluir que para cada quilograma de polímero se obtêm 10 conjuntos (pote com tampa) de PHB natural e 14 conjuntos de PP. Para potes de PHB pigmentado, o rendimento é um pouco menor, tendo em vista que sua densidade aumentou com a adição do pigmento branco, observando-se um rendimento de 9,8 conjuntos para cada quilograma de matéria prima (polímero + pigmento).

Estes dados de rendimento são importantes para serem utilizados na avaliação de custos de produção desses produtos.

Capacidade Volumétrica

Os resultados da caracterização dos potes quanto à capacidade volumétrica são apresentados na tabela 4.3 e ilustrados no gráfico 4.5. A massa de água correspondente está na tabela B do anexo III.

Tabela 4.3: Capacidade volumétrica total das amostras de pote/ml a 22°C

Repetição	Volume – ml		
	PHB N	PHB P	PP
1	666,4	671,8	655,9
2	650,3	668,2	676,9
3	653,0	649,5	667,5
4	673,0	668,1	691,0
5	645,1	655,9	661,6
6	660,2	666,2	675,14
7	671,7	646,3	680,0
8	666,0	668,5	681,2
9	672,7	660,4	651,2
10	651,9	671,7	679,5
Média	661,01	662,6	672,0
Máximo	672,9	671,8	691,0
Mínimo	645,1	646,3	651,1
Desvio Padrão	10,3308	9,2061	12,5645

Nota: Densidade da água = 0,99674 g/cm³ a 22°C

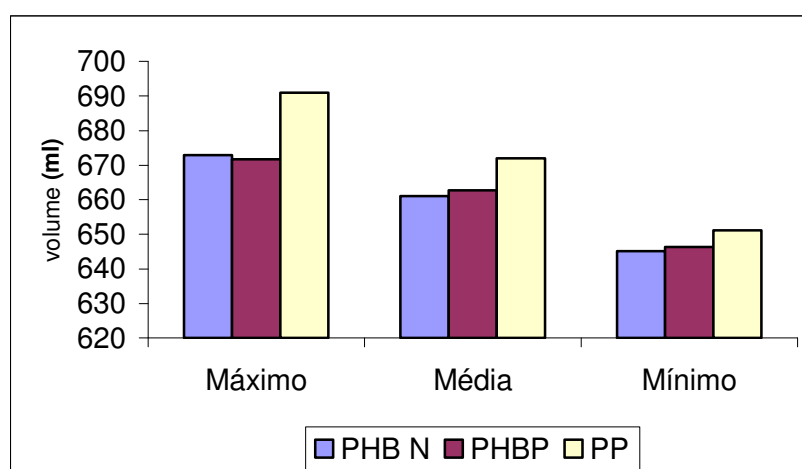


Gráfico 4.5: Capacidade volumétrica dos potes

A tabela 4.3 e o gráfico 4.5 mostram que o PHB natural e pigmentado apresentaram capacidades volumétricas totais semelhantes e (%) inferiores à determinada para o PP talvez devido à maior contração da peça, porém a diferença é pequena. Essa diferença para o PP é justificável por se tratar de um material com características e condições de processo diferentes. O quadro A (anexo III) apresenta as tolerâncias para capacidade volumétrica de embalagens plásticas, segundo a norma ASTM D-2911-94(1997). Esse quadro mostra que, para capacidade volumétrica de potes compreendida entre 531 e 767 ml, a tolerância é de 13 ml. As variações da capacidade volumétrica dos potes PHB natural e pigmentado atenderam essa recomendação, ao contrário dos potes de PP em que a variação foi maior, chegou a 20 ml.

O resultado dessa avaliação mostra que o polímero de PP se contrai menos que o de PHB, o que a análise dimensional do pote e tampa também já tinha mostrado. Isso reforça a necessidade de projetar moldes especiais para a injeção de PHB ou condições de injeção e resfriamento do molde otimizadas.

4.2.2 Avaliação das Propriedades Mecânicas

Resistência à compressão dinâmica

As fig. 4.2, 4.3 e 4.4, mostram respectivamente amostras de potes com tampa de PHB natural, PHB pigmentado e PP sendo testados na máquina universal de ensaios. O resultado das médias de força máxima e deformação máxima das amostras submetidas ao teste de resistência à compressão dinâmica, de cada tipo de material e condicionamento, está na tabela 4.1, e os resultados individuais de cada amostra, estão em um gráfico de Força x Deformação (anexo IV). Como é possível observar nas fig. 4.2, 4.3 e 4.4, que a chapa de compressão superior utilizada no teste, não possuía a mesma dimensão do pote e com isso durante o ensaio a força de compressão se concentrou no meio do pote. Os resultados obtidos não são os reais e, portanto, não foi possível concluir qual a força máxima de compressão do pote e se especificar o empilhamento máximo permitido. Porém, os resultados serviram para avaliar o comportamento dos três tipos de embalagens frente a distintas condições de condicionamento.

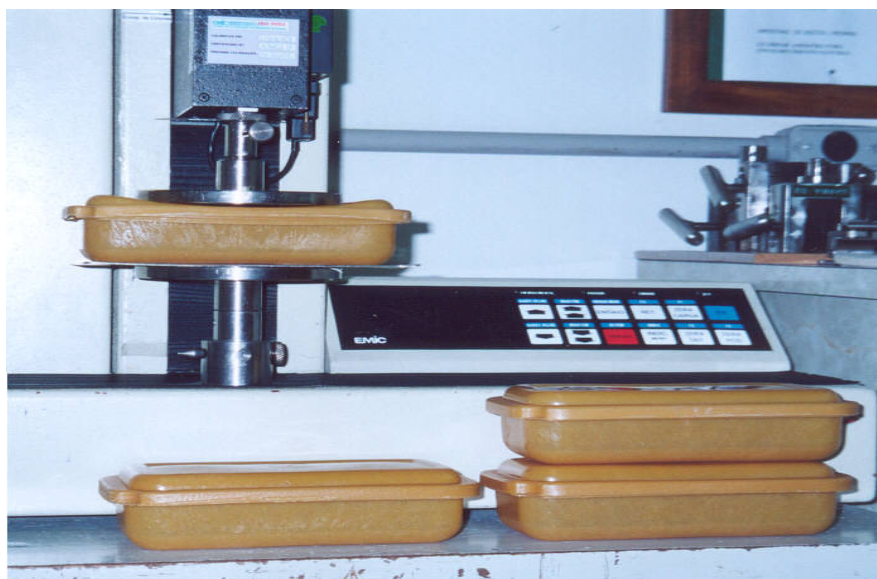


Figura 4.2: Compressão do pote PHB natural



Figura 4.3: Compressão do pote PHB pigmentado



Figura 4.4: Compressão do pote PP

A tabela 4.4 mostra que o resultado da força máxima de compressão para potes de PHB pigmentado condicionados em temperatura ambiente está próximo aos de

PP, e os de PHB natural estão bem mais baixos. Neste caso, é bom lembrar que as amostras obtidas de PHB natural eram de início do processo e as de PHB pigmentado do meio, onde havia maior estabilização. Isso também pode ser verificado pelo pequeno desvio padrão das amostras de PHB pigmentado em comparação com as de PHB natural. Outra hipótese possível para explicar a diferença encontrada, é que o pigmento possa melhorar a resistência à compressão dinâmica.

O resultado da força máxima de compressão dinâmica dos potes armazenados no calor mostra uma melhora para os de PHB natural e pigmentado e piora para os de PP, com valores menores. Isto pode ser verificado pelo próprio valor de deformação para os potes de PHB que melhoraram, ficando um pouco mais elásticos; por sua vez, os potes de PP perderam um pouco de elasticidade.

Tabela 4.4: Testes de resistência à compressão dinâmica das amostras acondicionadas em diferentes temperaturas e condições

Condicionamento 14 dias	Tipo de Embalagem	Média		Desv. Padrão		Coef. de Var (%)		Mínimo		Máximo	
		Força (kgf)	Defor. (mm)	Força (kgf)	Defor. (mm)	Força (kgf)	Defor. (mm)	Força (kgf)	Defor. (mm)	Força (kgf)	Defor. (mm)
Ambiente 20 - 30°C	PHB natural	59,11	13,28	10,60	4,0	17,93	30,11	47,68	9,092	75,34	18,99
	PHB pigmentado	90,37	15,92	0,080	0,359	0,089	2,26	90,28	15,55	90,44	16,27
	PP	87,31	28,09	6,16	28,09	7,06	5,38	76,29	26,01	90,12	29,82
Calor 55±5°C	PHB natural	90,14	17,20	0,133	0,822	0,147	4,784	90,02	15,78	90,33	17,72
	PHB pigmentado	90,32	16,43	0,302	0,522	0,335	3,181	90,02	16,10	90,81	17,34
	PP	69,77	23,63	7,995	2,534	11,47	10,73	58,60	20,88	77,78	26,67
Frio -18 ± 5°C 7 dias 6 ± 5°C 7 dias	PHB natural	54,22	12,23	7,742	3,189	14,28	26,08	44,24	8,521	65,38	17,18
	PHB pigmentado	74,93	13,54	6,361	2,267	8,489	16,74	64,53	10,96	81,38	15,61
	PP	84,35	28,49	12,05	3,304	14,29	11,60	62,84	22,68	90,28	30,67
Uso Cotidiano 14 dias	PHB natural	74,11	18,74	17,94	2,671	24,20	14,26	52,29	16,23	90,65	22,18
	PHB pigmentado	81,92	18,00	7,078	1,612	8,640	8,954	73,06	16,23	90,76	19,33
	PP	74,69	23,83	3,313	0,426	4,436	1,788	69,78	23,07	77,99	24,05

Nota 1: Defor. – Deformação

Nota 2: Coef.de Var – Coeficiente de variação $= (\text{desvio-padrão}/\text{média}) * 100$

Não houve mudança significativa na compressão dinâmica para os potes de PHB natural e PP acondicionados no frio, mas houve queda de resistência em torno de 17 % para os potes de PHB pigmentado.

O comportamento dos potes com tampa de PHB natural e pigmentado e PP quando submetidos às condições de uso cotidiano, apresentaram um comportamento bastante semelhante na compressão dinâmica (carga vertical).

A deformação dos potes observada nas quatro condições de acondicionamento foi semelhante para os potes de PHB natural e pigmentado, porém no pote de PP a deformação foi 50% superior. No entanto, fica evidente que o conjunto pote com tampa de PP é bem mais elástico (flexível) conforme mostram as curvas de *força x deformação* apresentadas pelas amostras (anexo IV), permaneceram intactos e retornaram ao seu estado normal após o alívio de força.

Os potes de PHB natural e pigmentado, por sua vez, são mais rígidos ou quebradiços, característica observada durante os ensaios, onde muitos dos potes e tampas de PHB natural e pigmentado racharam.

Pode-se, em princípio, concluir que o PHB natural e pigmentado têm um desempenho de resistência à compressão dinâmica diferente em relação ao PP. O material diferencia-se no valor da deformação que é em torno de 50 % menor que a do PP, caracterizando um material mais rígido e menos flexível. O desempenho do PHB tende a ser pior que o do PP em condições normais de geladeira e freezer, enquanto seu desempenho é superior ao do PP em temperaturas mais altas. Comparando as duas embalagens injetadas, PHB natural e pigmentada, observa-se um melhor desempenho na embalagem pigmentada, quando sob temperatura ambiente, frio e microondas sendo que em temperaturas mais altas os dois tipos têm o mesmo desempenho. Isso leva a supor que o pigmento possa ajudar a melhorar as propriedades mecânicas do PHB. O inconveniente apontado acima não prejudica a qualidade de uso do PHB natural ou pigmentado para a fabricação de embalagens para alimentos.

Resistência ao Impacto por Queda Livre

As fig. 4.5 e 4.6 ilustram a fratura observada nos potes após o impacto, a figura 4.5 os resultados do ensaio.



Figura 4.5: Potes de PHB natural após impacto



Figura 4.6: Potes de PP após impacto

Tabela 4.5: Resultados dos testes ao impacto por queda livre a partir de 1,5 m de altura

Amostra	Acondicionamento	Simulante	Número de amostras	Número de falhas	% de falhas	Tipo de falha
PHB natural	7 dias em freezer	gelo	05	05	100	Rompimento de um ou mais cantos da base lateral
PP	7 dias em freezer	gelo	05	03	60	Rompimento de um canto da base lateral

Os resultados da tabela 4.5 mostram que o PHB natural é mais quebradiço que o PP, principalmente quando submetido a temperaturas baixas. Nestas condições bastante severas 100 % das amostras de PHB natural falharam com rompimento de um ou mais cantos da base (calcanhar do pote) (fig. 4.5). Os potes de PP também mostraram maior fragilidade no calcanhar do pote quando submetidos ao teste de queda, sendo que 60 % falharam na mesma região (fig. 4.6). Isso evidencia uma maior fragilidade na região do calcanhar do pote independente do tipo de material. Essa é uma informação relevante para a área de (*design*) projeto de embalagem.

Através do ensaio foi possível reproduzir uma condição severa de uso e manuseio para as embalagens e com isso identificar suas áreas frágeis. Sabe-se, no entanto, que estas condições severas de manuseio existem, mas a probabilidade de ocorrer, é de menor frequência. Portanto, isso não invalida o uso do pote de PHB nas mesmas condições de manuseio que o PP. É relevante ser levado em consideração que o polímero de PHB testado estava com o valor de resistência ao impacto muito baixo, se comparado com o polímero de PP ou mesmo de um novo lote mais recente do polímero de PHB, conforme tabela 3.2. Pode-se dizer que ao injetar novas embalagens de PHB com o polímero mais otimizado, os resultados de desempenho do teste de queda por impacto podem ser bem superiores, chegando muito próximos aos do PP.

4.2.3 Avaliação Física

Teste de avaliação visual

Os resultados da inspeção das embalagens estão apresentados na tabela 4.6 abaixo e a classificação dos defeitos apresentados nas tabelas 4.7 e 4.8 e suas possíveis causas discutidas a seguir.

Tabela 4.6: Incidência de defeitos nas amostras

Tipo de amostra	Quantidade do lote	Número de Defeituosos	% de Defeituosos
Pote PHB natural	30	13	43,3
Pote PHB pigmentado	25	18	72,0
Tampa PHB natural	16	01	6,3
Tampa PHB pigmentada	35	02	5,7

Nota: 75 % das tampas pigmentadas, mesmo consideradas sem defeitos, estavam empenadas, mas não houve prejuízo no aspecto de fechamento.

Tabela 4.7: Classificação dos defeitos identificados nos potes e tampas de PHB natural

Tipo de amostra	Tipo de defeito	Quantidade	Classificação	%
Pote	borda danificada	12	tolerável	40,0
Pote	rachado	01	crítico	3,3
Pote	bolha	01	grave	3,3
Pote	esbranquiçada no ponto de injeção	10	tolerável	33,3
Tampa	Borda faltando	01	crítico	6,3

Nota: 100% de potes e tampas com odor indesejável

Tabela 4.8: Classificação dos defeitos identificados nos potes e tampas de PHB pigmentado

Tipo de amostra	Tipo de defeito	Quantidade	Classificação	%
Pote	borda colada	01	crítico	4,0
Pote	mistura de material	01	crítico	4,0
Pote	borda danificada	12	tolerável	48,0
Pote	borda danificada	05	crítico	20,0
Pote	Rebarba	05	tolerável	20,0
Pote	Rachado	01	crítico	4,0
Tampa	borda danificada	02	crítico	5,7

Nota 1: Em 100 % dos potes e tampas pigmentados não houve cobertura total do pigmento apresentando-se manchados, devido à má homogeneização do material.

Nota 2: Em 100% dos potes e tampas percebeu-se odor indesejável.

- a) Bordas danificadas: defeito possível de ocorrer por falta de material durante a injeção, deixando com isso o produto incompleto e com aparência "ondulada" ou falhada;
- b) Rachado: não é um defeito comum de ocorrer durante o processo normal de fabricação, decorre acidentalmente em peça que trancou no molde e necessitou de muito esforço para sua retirada;

- c) Bolha: é uma falha de processo, podendo ser decorrente da não adequação do ferramental (molde) com a matéria-prima utilizada (PHB);
- d) Esbranquiçado no ponto de injeção: a provável causa deste defeito foi a não adequação do processo e ferramental (molde) com o polímero utilizado;
- e) Borda faltando: é decorrente do não preenchimento total do molde com o polímero, devido à regulagem, ou seja, ajuste de processo;
- f) Borda colada: é resultante de material que sai quente do molde, possibilitando a colagem das bordas, danificando-as;
- g) Mistura de material: a causa deste defeito é proveniente do momento da troca de um material (polímero) para outro, seu controle se torna impossível;
- h) Manchados: a não homogeneização completa dos potes pigmentados se deve ao fato da granulometria (polímero + pigmento) não ser totalmente compatível, e principalmente em razão de os índices de fluidez e as densidades serem diferentes;
- i) Odor indesejável: a causa é o resíduo de solvente no polímero utilizado para injeção das embalagens (tabela 3.1).

No caso da injeção dos potes e tampas de PHB, os defeitos descritos acima ocorreram pelo fato de que as variáveis do processo não estarem ajustadas para este material, tendo sido ajustadas, por tentativa-erro durante o processo de injeção. A razão L/D, que define a taxa de compressão à qual o polímero está submetido durante o processo de fusão na injeção, estava inferior ao recomendado para o PHB, o que aumentou a exposição do polímero a altas taxas de cisalhamento com conseqüente aumento de viscosidade, o que dificulta o processo de injeção, gerando peças deformadas com grande quantidade de rebarbas. Para eliminar este problema dever-se-ia utilizar um polímero com maior massa molar o que possibilitaria a utilização de altas taxas de cisalhamento a baixas temperaturas, como as utilizadas neste trabalho, com conseqüentes ganhos de propriedades do produto final.

Outra variável que influencia na geração destes níveis de defeito é o molde utilizado para obtenção das amostras. O molde foi projetado para utilizar polímeros de polipropileno (PP), o que não possibilitou uma boa troca térmica com conseqüente aumento de ciclo de injeção e dos níveis de defeitos observados. Devido às características da cinética de cristalização (lenta) deste polímero, o molde deve ter seus

canais de refrigeração dimensionados para maximizar a troca térmica, permitindo um maior enrijecimento da amostra para retirada do molde sem deformações.

As amostras pigmentadas não apresentaram uma dispersão homogênea em função das características do equipamento Injetora, pois não foi possível manter a zona de mistura maximizada, em função da baixa massa molecular do polímero, para completa dispersão.

Na verdade até a data dos testes de injeção das amostras de embalagens, a empresa produtora do polímero não tinha disponível um polímero com massa molecular mais elevada. Mas sabe-se por informações recebidas pela própria empresa fabricante do polímero que lotes mais recentes de produção estão com parâmetros de qualidade superiores ao testado (tabelas 3.1 e 3.2). Com essa melhoria de qualidade, espera-se que o polímero irá atender melhor à demanda de processo, facilitando a regulagem das injetoras e, como consequência, ter-se-á um material injetado de melhor qualidade, com poucos defeitos e ausência de odor.

Avaliação de transmissão de luz

Os gráficos 4.6 e 4.7 e tabela 4.9 mostram os resultados das médias obtidas da análise de transmissão de luz para os três tipos de materiais. Os resultados da varredura das amostras de PHB natural e pigmentado e PP estão apresentados no anexo VI de acordo com as fig. A,B, C.

As figuras A, B e C mostram os resultados obtidos de %TE (percentagem de transmitância especular) através de um gráfico da varredura determinado para as amostras de PHB natural, pigmentado e de PP. Como é possível observar no gráfico da fig. A, do PHB natural, o valor de %TE é zero para as três amostras na região de 250-350 nm, demonstrando que o material tem barreira natural na faixa do UV. A partir da região da luz visível 400 a 750 nm, observa-se uma pequena passagem de luz, sendo que a máxima transmitância especular obtida nesta região foi de 3,17 % para a amostra 2 no comprimento de onda de 750 nm. A fig. B traz o resultado da varredura do PHB pigmentado, mostrando que o pigmento branco adicionado, de dióxido de titânio, dá uma total barreira à luz, para o PHB pigmentado não deixando passar os raios luminosos tanto na faixa do UV quanto na faixa da luz visível. O gráfico da fig.C mostra a varredura feita nas amostras de potes de PP transparente. Os

resultados confirmam a característica do material não pigmentado de ser transparente com brilho, sem barreira nas faixas de UV e visível.

Fica evidente que o material PHB natural tem uma boa barreira de luz, tanto na faixa de UV como na faixa de luz visível. A curva do PHB pigmentado mostra que a barreira é total e o resultado da %TE de 250-750 nm é zero. Para o PP evidenciam-se altos valores de transmitância especular, sendo que o valor mínimo obtido foi de 20,43 % na faixa de 250 nm e o máximo foi de 84,21% na faixa de 750 nm, comprovando ser um material transparente e sem barreira na região do ultravioleta.

Os resultados dos testes de transmissão de luz obtidos para os três tipos de material, evidenciam uma superioridade do material PHB natural e pigmentado em comparação com o PP não pigmentado, no que diz respeito à barreira de luz, tanto na região do ultravioleta como na região da luz visível. Recomenda-se o uso do material PHB para embalagens de alimentos que em sua maioria exigem barreira à luz na faixa do ultravioleta (220-400 nm), como, por exemplo, embalagens para óleo de soja e leite, não havendo necessidade técnica de uso de aditivo absorvedor de UV ou pigmentá-lo, a menos que seja uma necessidade de marketing do produto.

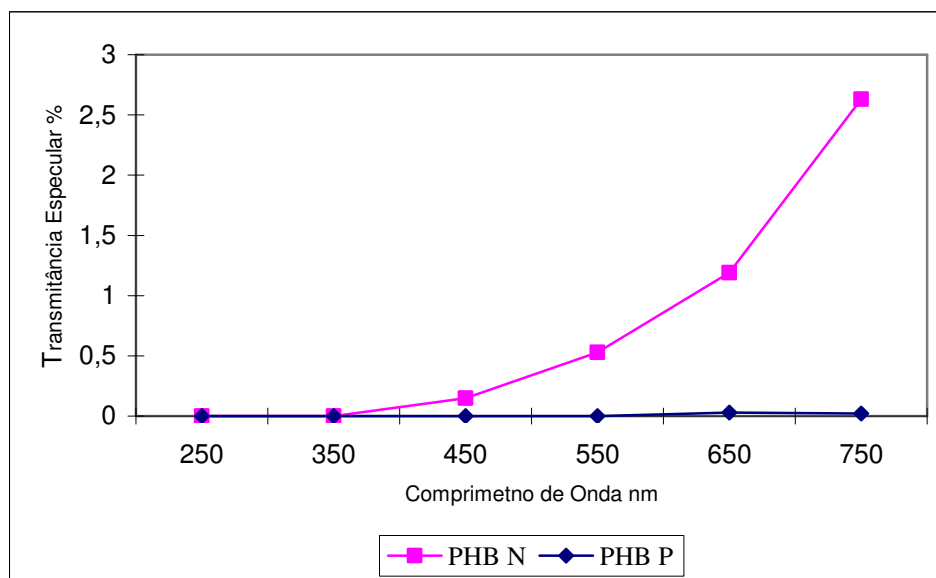


Gráfico: 4.6: Média das varreduras de 250-750nm de PHB natural e PHB pigmentado

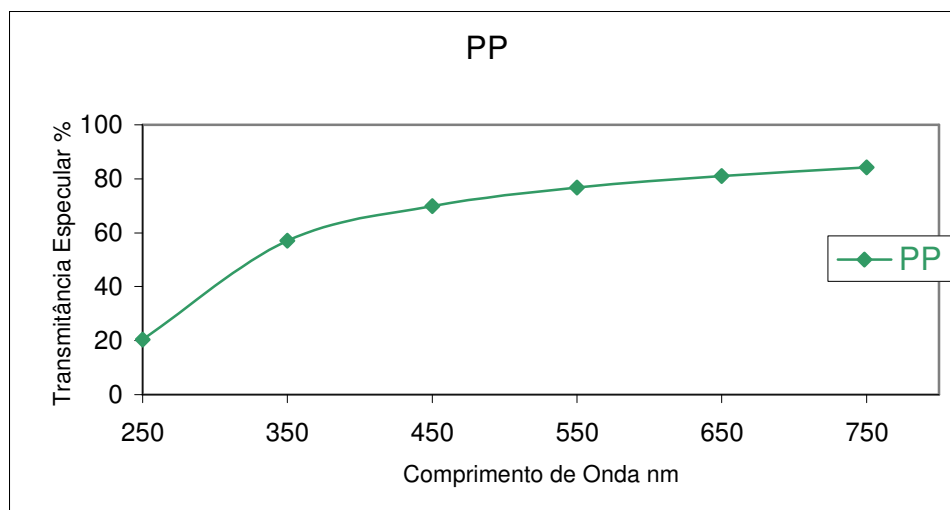


Gráfico: 4.7: Média das varreduras de 250-750nm de PP

Tabela 4.9: Média dos ensaios de transmissão de luz

Material	Nm	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Média	DesvP
		%TE	%TE	%TE	%TE	
PHB natural	250	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000
	350	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000
	450	0,13	0,18	0,15	0,15	0,0205
	550	0,43	0,66	0,50	0,53	0,0963
	650	0,92	1,54	1,12	1,19	0,2584
	750	1,90	3,17	2,81	2,63	0,5344
PHB pigmentado	250	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000
	350	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000
	450	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000
	550	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000
	650	0,01	0,00	0,00	0,03	0,0050
	750	0,02	0,02	0,02	0,02	0,0000
PP	250	18,45	22,05	20,78	20,43	1,4908
	350	54,04	60,06	57,24	57,11	2,4593
	450	67,78	72,30	69,55	69,88	1,8597
	550	75,49	78,87	75,88	76,75	1,5098
	650	80,37	83,39	79,55	81,10	1,6512
	750	84,94	86,11	81,58	84,21	1,9201

Nota 1 %TE = Percentagem de transmittância especular

Nota 2 – nm = Nanômetro (10^{-9} m)

Nota 3 – DesvP = Desvio padrão

4.2.4 Avaliação da Interação Produto e Embalagem

Teste 1: Avaliação da intensidade de odor do material

Os resultados da avaliação individual dos provadores e a média estão na tabela A “Interpretação do teste de comparação múltipla” (anexo IX). O resultado da média dos julgamentos atribuídos às amostras e padrão em relação ao odor foram para o PHB igual a 5,33 (moderadamente forte), para o PP igual a 3,75 (moderado) e para o padrão igual a 2,75 (ligeiro). Os resultados obtidos mostram que, para o teste de variância e teste de média Dunnett, as amostras testadas diferem entre si em nível de significância de 5 %, significando que os provadores perceberam diferença entre as amostras e o padrão. O forte odor percebido pelos provadores para o PHB confirma que as embalagens, mesmo após 90 dias da injeção, ainda conservaram um certo odor. Esse odor é característico do elevado valor de solvente residual (14,3 mg/kg, ver tabela 3.1) presente no polímero utilizado neste estudo. Para que o polímero possa ser aprovado para fins alimentícios no aspecto de transmissão de odor é necessário que o valor de solvente residual esteja próximo ou igual a zero. A tabela 3.1 mostra também dados de um lote mais atual do polímero, com valor de solvente residual de 3,6 mg/kg menor do que o da testada, significando que o fabricante está aprimorando seu produto.

Teste 2: Avaliação da intensidade de contaminação sensorial de Alimentos - Método direto - Teste triangular expandido

O resultado das avaliações dos provadores para cada simulante foi transcrito nas tabelas (B, C, D e E do Anexo IX).

Os resultados da quadro 4.1 mostram que os provadores encontraram diferença significativa em nível de significância de 5% com o simulante água. Isso se deve ao alto teor de solvente residual no polímero, também percebido durante o teste de avaliação de odor. Com esse resultado, a embalagem não está aprovada para uso em água mineral ou produtos aquosos.

Quadro 4.1: Análise sensorial por teste triangular expandido de quatro simulantes após contato com pote de PHB

Simulante	Julgadores	Respostas Corretas	Significância a 5%*	Resultado
Água	39	21	19	Houve diferença significativa
Maionese	39	16	19	Não houve diferença significativa
Margarina	39	18	19	Não houve diferença significativa
Requeijão	39	10	19	Não houve diferença significativa

* Resultado obtido através da tabela F do anexo IX

No caso de maionese, margarina e requeijão, por se tratarem de produtos gordurosos e sensíveis à contaminação organoléptica, o resultado foi bastante positivo, não houve diferença significativa em nível de 5%. Isso quer dizer que os provadores não perceberam diferença entre o padrão (produto na embalagem original) e a amostra (produto na embalagem de PHB). Esses tipos de produtos alimentícios, em sua grande maioria, utilizam embalagens descartáveis e o uso de embalagens de PHB para eles pode tornar-se uma boa solução para diminuir o grande volume de resíduo sólido causado por embalagens.

4.3 Testes de biodegradação

A tabela 4.10 mostra o resultado da média de perda de massa das amostras e a tabela 4.11 a percentagem de biodegradação acumulada durante 180 dias. O gráfico 4.7 compara esses resultados de cada meio (tratamento) através da perda de massa, sobrepondo os resultados. As tabelas B, C, D, E, F, G, H e I do anexo X mostram os valores individuais das amostras e as condições de cada meio. As fig. 4.7 a 4.23 ilustram o tempo zero e os resultados de biodegradação do primeiro e do último mês para cada meio.

Tabela 4.10: Média da perda de massa das cinco amostras nos oito diferentes meios

Tempo Dias	Meio I Água (g)	Meio II Esterco (g)	Meio III Resíduos (g)	Meio IV Terra Jardim (g)	Meio V Lodo (g)	Meio VI Rio (g)	Meio VII Cx. Gordura (g)	Meio VIII Fossa (g)
30	0,0000	0,0458	0,0336	0,0683	0,0070	0,2902	0,0000	0,2250
60	0,0000	0,1092	0,8377	0,1688	0,1262	0,0984	0,0000	1,0108
90	0,0000	0,1980	*1,4884	0,2085	0,0495	0,1110	0,0000	*1,2129
120	0,0000	0,3433		0,3036	0,2302	0,1905	0,0000	
150	0,0000	0,3757		0,4597	0,0890	0,1714	0,0000	
180	0,0000	0,6691		0,4246	0,1896	0,3394	0,0000	

Nota 1: g = Perda de massa em g

Nota 2: * 100 % de biodegradação

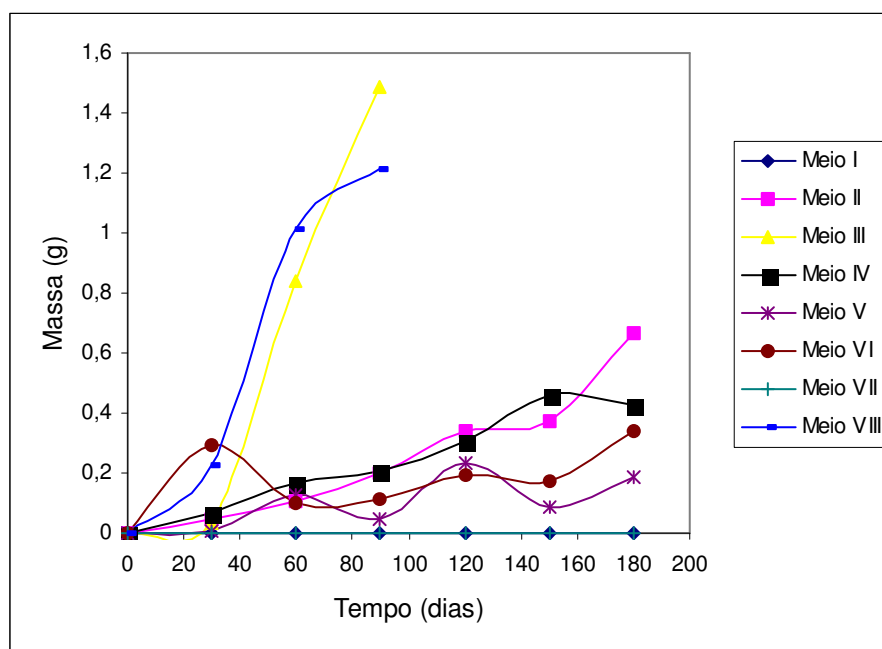


Gráfico 4.7: Comparação da média de perda de massa das amostras em cada meio

Tabela 4.11: Média da percentagem de biodegradação em oito diferentes meios das cinco amostras

Dias	Meio I água %	Meio II esterco %	Meio III resíduos %	Meio IV terra jardim %	Meio V lodo %	Meio V rio %	Meio VII cx Gordura %	Meio VIII fossa %
30	0,00	3,10	2,50	4,72	0,54	18,47	0	15,29
60	0,00	8,78	65,33	13,34	8,91	7,65	0	75,96
90	0,00	13,75	100,00	16,04	3,77	8,45	0	100,00
120	0,00	23,46		21,54	18,07	14,34	0	
150	0,00	24,85		38,25	6,63	13,88	0	
180	0,00	45,09		32,01	15,36	23,78	0	

O que pode ser observado através da tabela 4.10 e do gráfico 4.7 é que no Meio I (Caixa d'água) não houve biodegradação, durante o período dos testes. Na verdade, o resultado é esperado por se tratar de água potável, onde a concentração de microorganismos é mínima. Já no Meio II, por se tratar de esterco compostado de cama de aviário, a atividade microbiana é elevada e constante, ocorrendo biodegradação, mas não com tanta intensidade como ocorreu nos meios III e VIII, conforme pode ser verificado através das tabelas 4.10 e 4.11 e gráfico 4.7. Pôde-se, no entanto, verificar um aumento maior na taxa de biodegradação, aos 120 dias (quarto mês), sendo de 23,46 %. Tal aumento pode ter sido ocasionado pelo maior índice pluviométrico no período (tabela C, anexo X), uma vez que a taxa de biodegradação aos 150 dias foi apenas de 24,85 %. Aos 180 dias a taxa de biodegradação foi de 45,09 %. Convém lembrar que no final de cada período são analisadas outras amostras que estão naquele meio desde o início.

Os resultados de biodegradação do Meio III (Resíduos domésticos), apresentados através das tabelas 4.10 e 4.11, gráfico 4.7 e fig. 4.12 e 4.13, confirmam uma taxa acentuada nesse meio. No entanto, a taxa de biodegradação nos primeiros 30 dias foi pequena (2,5 %) se comparada com os períodos seguintes, visto que o aterro ainda estava com baixa atividade microbiana e que os despejos eram recentes, em torno de 15 dias, quando as amostras foram enterradas para o início dos testes de biodegradação. Após 60 dias, constatou-se atividade intensa dos microorganismos sobre as amostras de embalagem plástica e, como conseqüência, foi observada uma alta taxa de biodegradação (65,33%). Depois de 90 dias, houve 100% de degradação das amostras. Esse resultado é bastante positivo confirmando a hipótese que uma das grandes soluções para a redução dos resíduos sólidos causados pelo descarte das embalagens plásticas está no uso de plásticos biodegradáveis. Nesse caso, as embalagens enviadas para aterros sanitários com elevada concentração de material orgânico, umidade e oxigênio demorariam não mais de 6-12 meses para se degradarem, dependendo do formato e da espessura do material. O uso de embalagens de PHB pode ser uma das soluções para a falta de espaço nos aterros sanitários. A exemplo, o aterro de Caximba na cidade de Curitiba, está sendo fechado por falta de espaço (ALVES, 2002). Outra solução para o depósito das embalagens plásticas seria o próprio aterro doméstico e geração de adubo para cultivo de plantas (ver fig. 2.12: Ciclo da biodegradação). O processo de biodegradação pode começar

na lixeira doméstica na residência do usuário e terminar no aterro sanitário após a coleta do lixo domiciliar.

Para o Meio IV (Terra de jardim), nos primeiros 30 dias a taxa de biodegradação foi de 4,72%, aos 60 dias foi de 13,34% e teve grande influência do índice pluviométrico do período de 0-60 dias. Aos 90 dias, a biodegradação ficou em 16,04 %, menor que nos demais períodos, podendo ter sido influenciada pelo decréscimo do índice pluviométrico. Aos 120 dias a taxa de biodegradação chegou a 21,54 % com ligeiro aumento em relação ao período anterior, já que houve aumento do índice pluviométrico no último período. Aos 150 dias a taxa foi de 38,25 % e aos 180 dias de 32,01 %. A “terra de jardim” também pode ser um dos meios a ser utilizado para diminuir o volume de resíduos sólidos, enterrando embalagens de PHB no quintal ou jardim do usuário.

O resultado da biodegradação das amostras de PHB colocadas no Meio V (Lodo proveniente de um reator anaeróbico) mostra uma pequena atividade de microorganismos presentes nesse meio, correspondendo a pequenas taxas de biodegradação (tabela 4.10), além de que o percentual de degradação foi irregular conforme pode ser observado com os resultados obtidos na tabela 4.11. Os resultados dos testes de biodegradação no lodo podem ter sido influenciados pela baixa umidade presente neste substrato. Concluiu-se que ainda existe uma discreta atividade microbiana nesse substrato, mas totalmente irregular, conforme foi percebido ao longo da coleta das amostras. Portanto, para indicar esse substrato como meio para biodegradação de PHB, sugere-se depois da saída do biodigestor, deixá-lo a céu aberto em contato com o sol e a chuva para que a atividade microbiana fique mais homogênea e contínua.

Os resultados do teste de biodegradação de PHB do Meio VI (Água do Rio), conforme as tabelas 4.10 e 4.11 e gráfico 4.7 mostram que no rio existe atividade de microorganismos que degradam o PHB, mas de forma irregular e lenta. Portanto, mesmo que o tempo total de biodegradação de uma embalagem de PHB jogada no rio for de três a cinco anos, com certeza esse resultado ainda é positivo, se comparado com as embalagens derivadas do petróleo, que permanecem na natureza por tempo muito longo, poluindo córregos e rios. Na verdade, esse índice de biodegradação pode ser muito maior se o rio estiver com um grau elevado de contaminantes microbiológicos. Nesse caso, podemos concluir que se uma embalagem de PHB for

descartada no rio, dentro de um período de tempo não muito longo será degradada pelos microorganismos presentes neste meio.

O resultado do teste de biodegradação do Meio VII (Caixa de Gordura) mostra que não ocorre biodegradação do PHB nas condições em que as amostras ficaram acondicionadas. Apesar de existir uma forte tendência a se encontrar microorganismos que vivem nesse meio, observou-se um ligeiro aumento de peso das amostras, demonstrando que elas haviam absorvido gordura. Pressupõe-se que a gordura absorvida e impregnada nas amostras criou uma barreira, isolando o plástico e com isso impedindo o contato com os microorganismos. Presumi-se também que talvez a flora disponível não seja do tipo que consome PHB e que talvez haja restrição de oxigênio e que talvez essa flora ache mais fácil usar a gordura como alimento. Outro aspecto importante observado conforme anexo X da tabela H que o pH do meio durante todo o período do experimento estava muito baixo, impedindo ação dos microorganismos sobre o PHB. Esse meio necessita de um tempo maior de acompanhamento e mais estudos para uma conclusão definitiva em relação a biodegradação.

O resultado da biodegradação do Meio VIII (Fossa séptica) foi bastante elevado de acordo com as tabelas 4.10 e 4.11 e gráfico 4.7. Na verdade, trata-se de um meio anaeróbio e com a presença de um grande número de bactérias. Aos 30 dias, o índice de biodegradação foi de 15,29 %, aos 60 dias foi de 75,96 % e aos 90 dias, foi de 100 %, visto que todas os corpos de prova desapareceram. Esse meio mostrou-se bastante eficiente cumprindo com os objetivos de decompor os corpos de prova das embalagens em tempo extremamente curto. Portanto, o PHB se degrada rapidamente em meio anaeróbio com presença de grande quantidade de microorganismos.

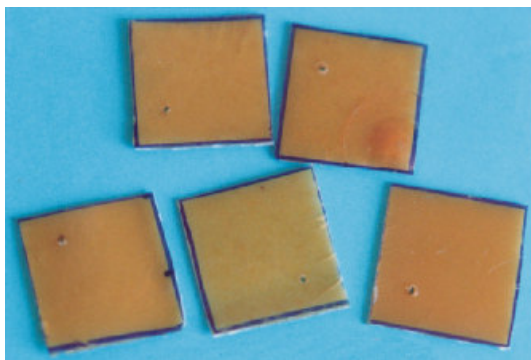


Figura 4.7: Tempo zero



Figura 4.8: Meio I - Água potável, 30 dias



Figura 4.9: Meio I - Água potável, 180 dias

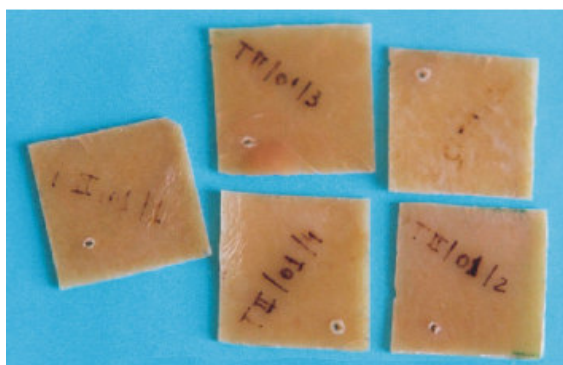


Figura 4.10: Meio II - Esterco, 30 dias

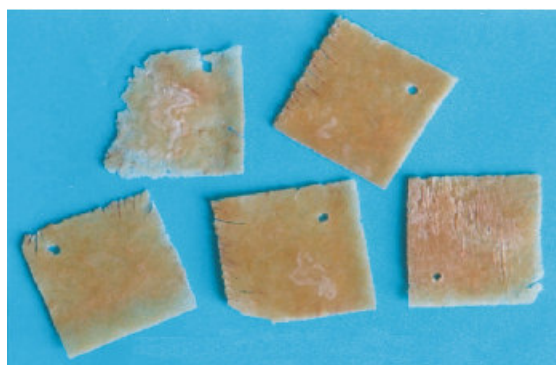


Figura 4.11: Meio II - Esterco, 180 dias



Figura 4.12: Meio III - Resíduos domésticos, 30 dias

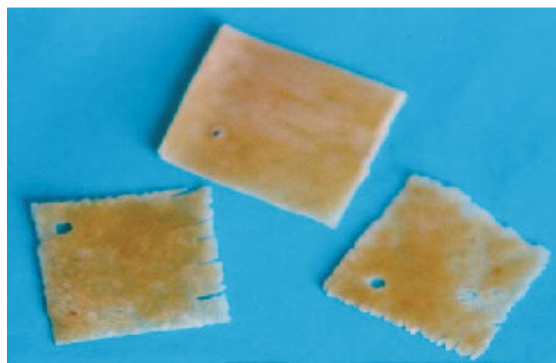


Figura 4.13: Meio III - Resíduos domésticos, 60 dias

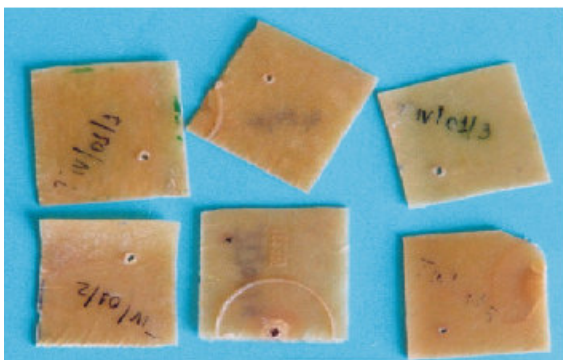


Figura 4.14: Meio IV - Terra de jardim, 30 dias



Figura 4.15: Meio IV - Terra de jardim, 180 dias

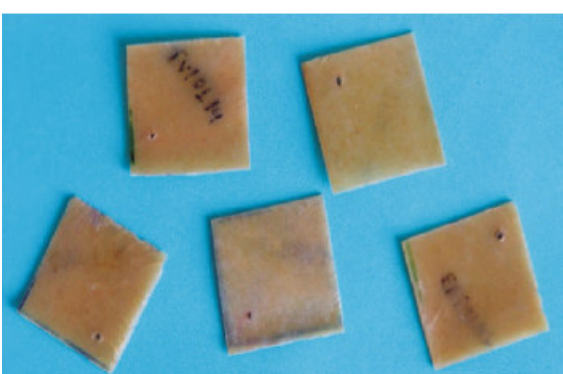


Figura 4.16: Meio V - Lodo, 30 dias

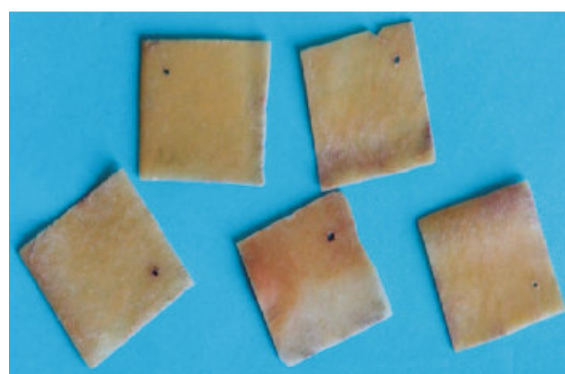


Figura 4.17: Meio V - Lodo, 180 dias



Figura 4.18: Meio VI - Água de rio, 30 dias

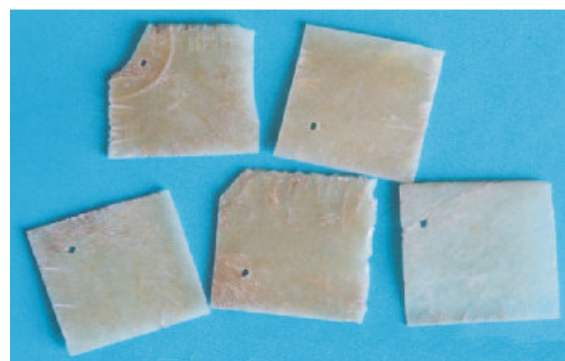


Figura 4.19: Meio VI - Água de rio, 180 dias

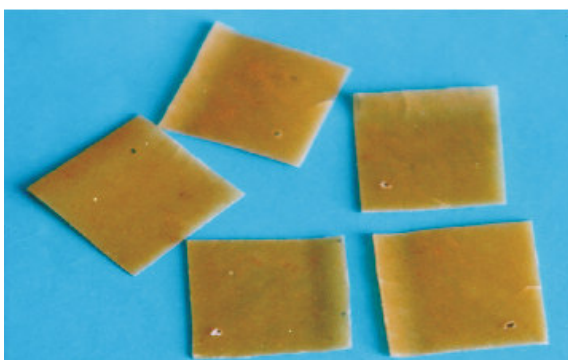


Figura 4.20: Meio VII - Caixa de gordura, 30 dias



Figura 4.21: Meio VII - Caixa de gordura, 180 dias



Figura 4.22: Meio VIII - Fossa séptica,
30 dias

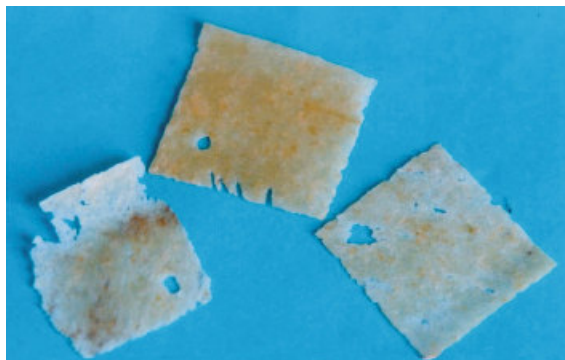


Figura 4.23: Meio VIII - Fossa séptica,
60 dias

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A crescente demanda por embalagens, principalmente para alimentos, traz como conseqüências negativas para o meio ambiente, a geração de enormes quantidades de resíduos sólidos. Dentre as alternativas adequadas para solução desse grave problema, está a utilização de bioplásticos – como o PHB (Poli (ácido 3-hidroxi-butírico)) - para fabricação de tais embalagens.

O PHB pode ser utilizado em processos de injeção para fabricação de embalagens de alimentos nos mesmos equipamentos onde se injetam embalagens de PP, desde que sejam ajustadas as condições de processo às características daquele polímero e utilizado um molde específico para ele. Essa conclusão provém da avaliação dimensional, teste de espessura, capacidade volumétrica e da inspeção visual realizados. Possivelmente chegar-se-á a conclusões semelhantes com embalagens termoformadas e sopradas.

Na comparação de potes de PHB natural e pigmentado com potes de PP em testes de compressão dinâmica e ao impacto por queda livre as diferenças nos resultados não foram significativas, o que leva a concluir que o PHB pode ser utilizado nas mesmas condições que o PP.

Dado que o PHB tem uma barreira natural à luz na faixa de UV o que dispensa o uso de pigmentos ou absorvedores de UV – comum em PP, PET, PVC, por exemplo - para proteção de alimentos facilmente oxidáveis.

Os testes físicos, dimensionais, mecânicos e sensoriais executados mostraram que o PHB pode substituir o PP ou outros polímeros sintéticos em embalagens para acondicionamento de grande parte dos alimentos, inclusive para uso em *freezer* e microondas. Como não foi possível testar o potencial de migração total dos componentes do material para alimentos acondicionados nessas embalagens e a taxa de permeabilidade ao vapor d'água com produtos sensíveis à umidade recomenda-se este estudo para trabalhos futuros. A otimização de uma embalagem de PHB para um alimento específico deve incluir também um estudo de vida de prateleira. Outrosim, o polímero não foi testado em embalagens para alimentos, em que a atividade microbiana é elevada e é de interesse não inibi-la, como no leite, em leites fermentados.

tados e em iogurtes, razão por que nada se pode afirmar sobre o comportamento dele nestes casos, e se recomenda um estudo análogo em trabalhos futuros.

Como o fabricante empenhou-se em aperfeiçoar o polímero de PHB, em especial a eliminação de solvente residual, nos novos lotes, provavelmente, não mais haverá solvente residual detectável quando do uso dele em embalagens para água, uma vez que o problema não era dos mais graves, pois nos alimentos gordurosos testados, via de regra sensíveis à contaminação organoléptica, não se constatou alteração de gosto ou odor.

Os testes de biodegradação do PHB natural injetado mostraram que alguns meios são bem mais favoráveis à degradação do que outros, mas que ela ocorre na sua grande maioria, sempre que o material for descartado. Mesmo que, na pior das hipóteses, quando a embalagem for jogada em qualquer lugar, ela degradar-se-á num período de meses, no máximo anos e por isso, representa um problema ambiental bem menor que suas análogas de PP, PE, PS, PET, etc. cuja degradação leva centenas de anos. Como a reciclabilidade do PHB ainda não foi estudada – fica como recomendação para trabalhos futuros – este trabalho recomenda que as embalagens usadas de PHB sejam planejadamente acomodadas nos meios mais propícios à biodegradação, como em leiras para compostagem de resíduos orgânicos, em biodigestores ou mesmo em aterros controlados. Outra alternativa viável seria a incineração para obtenção de energia, processo com menos impactos ambientais do que na incineração de plásticos sintéticos, uma vez que estes só contêm átomos de carbono, oxigênio e hidrogênio.

Como os maiores impactos ambientais dos plásticos sintéticos se concentram nas fases de obtenção das matérias-primas e de descarte, o uso de PHB para embalagens de diversos alimentos traz, como ganho para o meio ambiente e de toda a sociedade, a redução dos volumes de resíduos plásticos nos aterros, lixões e rios. Outra grande vantagem do PHB é ser derivado de recursos renováveis que podem ser produzidos no Brasil em grande escala, gerando também empregos na indústria e no campo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ABOUD-ZEID, D.; MÜLLER, R.; DECKWER, W. Degradation of natural and synthetic polyesters under anaerobic conditions. Journal of Biotechnology, Germany, n.86, p. 113-126, 2000.

ALVES, R. M.V. et al. Ensaios para avaliação de embalagens plásticas rígidas. Campinas: CETEA/ITAL, 1998.

ALVES, U. Volume de resíduos vai definir nova tarifa. **Gazeta Mercantil**, São Paulo, 14 maio. 2002.

APRENDENDO sobre a vida a partir das ciências. **Jornal Brasil Sekyo**. 16 jun.2002. Caderno de Cultura Soka C4, n.1654. Disponível em: <http://www.motoki.hpg.ig.com.br/Cs/Cs2002/CS02_05.html> Acesso em: 14. abr. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5426**: guia para utilização da norma: planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos. Rio de Janeiro, 1985. 26p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002. 24p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12806**: análise sensorial dos alimentos e bebidas. Rio de Janeiro, 1993. 08p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12994**: métodos de análise sensorial dos alimentos e bebidas. Rio de Janeiro, 1993. 02p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12995**: teste triangular em análise sensorial dos alimentos e bebidas. Rio de Janeiro, 1993. 05p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13170**: teste de ordenação em análise sensorial. Rio de Janeiro, 1994. 07p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13177**: embalagens flexíveis - avaliação do potencial de contaminação organoléptica de alimentos. Rio de Janeiro, 1994. 04p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14141**: escalas utilizadas em análise sensorial de alimentos e bebidas. Rio de Janeiro, 1998 03p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. Standard test method for haze and luminous transmittance of transparent plastics. ASTM D 1746-97. In: **ASTM Standards on Disc**. Philadelphia: ASTM, 2001. v.08.01, 3p(1 CD Rom).

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. Standard test method for drop impact resistance of blow-molded thermoplastic containers. ASTM D 2463-95. In: **Annual Book of ASTM Standards**. Philadelphia: ASTM, 1997. v.08.02, p.16-20.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. Standard practice for classifying visual defects in parts molded from reinforced thermosetting plastics. ASTM D 2562-94. In: **Annual Book of ASTM Standards**. Philadelphia: ASTM, 1997. v.08.02, p. 36-39.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. Standard test method for column crush properties of blown thermoplastic containers – ASTM D 2659-95. In: **Annual Book of ASTM Standards**. Philadelphia: ASTM, 1997. v.08.02, p. 88-91.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. Standard specification for dimensions and tolerances for plastic bottles – ASTM D 2911-94. In: **Annual Book of ASTM Standards**. Philadelphia: ASTM, 1997. v.08.02, p.163-177.

AZANHA, A. A importância da embalagem para a indústria de produtos cárneos no Brasil. In: SEMINÁRIO A IMPORTÂNCIA ESTRATÉGICA DA EMBALAGEM PARA O MEIO AMBIENTE, 2001, São Paulo. **Anais...**Campinas: CETEA, 2001.

BADER, H.J. et al. **Zucker und Kohlenhydrate Ein Baukasten der Natur**. Gulsow. Ed. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. [s.d.]. p. 11-12.

BRASIL Pack Trends 2005. **Embalagem, distribuição e consumo**. Campinas: CETEA/ITAL, 2000.

BRISTOL, J. **Plastics films**. 3 ed. Singapura: Longman Singapore Publishers, 1990.

BROWN, W.E. **Plastic in food packaging: properties, design, and fabrication**. New York: Marcel Dekker, 1992.

CAMPOS, M. **O plástico que vem da cana**. Disponível em:>
http://www.usp.br/jorusp/arquivo/1998/jusp440/manchet/rep_res/rep_int/pesqui2.html
>Acesso: 15 abr. 2003.

CHANDRA, R; RUSTIGI, R. Biodegradable Polymers. **Program, Polymer Science**, Grã Bretanha, n.23, p. 1273-1335, 1998.

COLTRO, L. Plástico biodegradável. **Informativo CETEA**. Campinas, v.7,n.1,p. 4-5, jan./fev. 1995.

_____. Embalagens plásticas transparentes: com ou sem barreira à luz? **Pack Tecnologia em Embalagem**. São Paulo, 6, 64, p. 10-11, dez. 2002.

_____. Embalagens plásticas transparentes: com ou sem barreira à luz? **INFORMATIVO CETEA**. Campinas. v.14, n.3, jul./ago./set. 2002. Disponível em: <
<http://www.cetea.ital.org.br/cetea/informativo/>> Acesso em: 22 jan.2003.

CURTE, C. Plástico em embalagens para alimentos: herói ou vilão? **Pack**, São Paulo, v.5, n.57, p. 14-15, maio 2002.

DANTAS, S.T. et al. **Embalagens rígidas para bebidas**.Campinas: CETEA/ITAL, 2000 p. 188-192.

DUTCOSKY, S.D. **Análise sensorial de alimentos**.Curitiba: Champagnat, 1996.
DZCENTRO DE DESENHO. **Manual de gestão de design**. Portugal: Editora Porto, 1997.

EMBALAGENS puxam maior escoamento de resinas. **Embalagem Marca**,. São Paulo, v.5, n.41, p. 29 jan.2003.

GARCIA, E.E.C. Desenvolvimento de embalagem e meio ambiente. In: BRASIL Pack Trends 2005. **Embalagem, distribuição e consumo**. Campinas, SP: CETEA/ITAL, 2000. p. 81-99.

GARCIA, E.E.C. Inovações e tendências embalagens plásticas rígidas. In: Seminário Brasil Pack Trends 2005, 2002. São Paulo. **Anais...**Campinas: CETEA, 2002. p.1-31.

GOMES, J.; BUENO NETTO, C. Produção de poliésteres bacterianos.In: LIMA, U. et al. **Biotecnologia industrial processos fermentativos e enzimáticos**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2001. v. 3, p. 219-245.

GRAEDEL, T.E; ALLENBY, B.T. **Design for environment**. New Jersey: Prentice Hall, 1996.

GRIFFIN Jr.,R.C. Materials and package testing. In:_____.**Principles of package development**. 2. ed. Connecticut: Avi Publishing Company Inc, 1985, p. 130-167.

GURGEL, F. **Embalagem: a vendedora silenciosa – Design, comercialização e tecnologia**. São Paulo: Vanzolini, 1995.

HOYLE, W.; KARSA, D.R. **Chemical aspects of plastics recycling**. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 1997.

IBGE: Disponível em :http://www.ibge.net/home/estatistica/populacao/condicaoode-vida/pnsb/lixo_coletado/lixo_coletado109.shtm.> Acesso em 10. abr. 2002.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION- ISO. **Glass containers determination of capacity by gravimetric method ISO 8106**. 1st ed. Switzerland: ISO, 1985. 2p.

KAMIO,G. Interesse único: embalagem. **Embalagem Marca**, São Paulo, v.4, n.33, p. 28-38, maio. 2002.

KARNIOL, T.R. **Pioneirismo brasileiro na produção de plástico biodegradável**. Disponível em >: http://www.neoambiental.com.br/html/noticias_reportagem/html/reportagem/>Acesso em: 07 ago. 2002.

KATAN, L.L. Organolepsis. In: BRISTOL, J. E KATAN, L.L. **Plastics films**. Singapura: Longman Singapore Publishers, 1990. Cap.12.

KIM, M. et al. Biodegradation of poly(3-hydroxybutyrate), Sky-Green® and Mater-Bi® by fungi isolated from soils. **European Polymer Journal**, South Korea, n.36, p. 1677-1685, 2000.

LEITE: embalagem versus qualidade. **Leite on line**. Disponível em:<<http://leite.hypermart.net/embalagem.htm> > Acesso em 23/01/03.

LOPES, A. Ecoplástico. Vem aí o plástico vegetal. **Super Interessante**, São Paulo, n.180, set. 2002.

MADI, L; MULLER, M; WALLIS, G. Fatores de Influência e Mudança na Produção e Consumo de Embalagens. In: _____. **BRASIL Pack Trends 2005 :Tendências da indústria brasileira de embalagem na virada do milênio**. Campinas: CETEA/ITAL, 1998. p. 68-77.

MANZINI, E. **Artefacts: vers une nouvelle écologie de l'environnement artificiel**. Paris: Editions du Centre Pompidou, 1991.

MARANGONI,C. **Estudo de estratégias de produção de poli(3-hidroxibutirato-co-3-hidroxivalerato) por *Ralstonia Eutropha* utilizando substratos de baixo custo e ácido propiônico**. Florianópolis, 2000.191f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Santa Catarina.

MARTINS, W. **CECAE - Disque Tecnologia da Universidade de São Paulo Aprotect Tecnologia Apropriada**. Disponível em:<http://www.cecae.usp.br/aprotec/RESP68.htm/>>Acesso em: 14 abr. 2003.

MESTRINER, F. **O que é o design de embalagem**. Fev.1998. Disponível em:><http://www.pack.design.com/index1.html> >Acesso em: 11 maio 2001.

_____. **Design de embalagem-curso básico**. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 2002.

MOREIRA, P. F. O projeto de embalagem integrado ao fluxo logístico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EMBALAGENS, 6. 1994, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABRE, 1994. p. 31-33.

MOURA, R.A.; BANZATO, J.M. **Embalagem: acondicionamento, unitização & containerização – Manual de movimentação de materiais**. São Paulo: IMAM, 1990. 2.v.

MOURAD, A.L.; et al. **Avaliação do ciclo de vida: princípios e aplicações**. Campinas: CETEA/CEMPRE, 2002.

NADA se perde, tudo se transforma: o aproveitamento de embalagens reduz o volume de resíduos sólidos, economiza energia e gera mais empregos. **Óleos&grãos**, São Paulo, v.10, n. 63, p. 26-32, nov./dez. 2001.

NASCIMENTO, J. F. **Estudo da processabilidade e da caracterização do poli(ácido 3-hidroxi-butírico)- PHB obtido a partir da cana-de-açúcar**. Campinas, 2001. 58f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Estadual de Campinas.

PLASVALE home-page. Disponível em: <http://www.plasvale.com.br>> Acesso em: 15 abr. 2003.

POLIBRASIL home-page. Disponível em: <http://www.polibrasil.com.br>> Acesso em: 15 abr. 2003.

PACKAGING and Packaging Waste Directive,(94/62/EEC)

PADULA, M. Solventes residuais em embalagens flexíveis. **Informativo CETEA**, Campinas, v.3, n.1, p. 6-7, 1991.

PADULA, M. Solventes residuais em embalagens flexíveis e sua correlação com efeitos sensoriais em alimentos. **Informativo CETEA**, Campinas. v.13, n.1, jan./fev./mar. 2001. Disponível em:< <http://www.cetea.ital.org.br/cetea/informativo/>> Acesso em: 22 jan. 2003.

_____. Migração de componentes da embalagem para alimentos: contaminação organoléptica. **CETEA Informativo**, Campinas, v.7, n.5, p. 9-11, 1995.

PAINE, F.A. **The packaging user's handbook**. London: Chapman & Hall, 1996.

PETERSEN, K. et al. Potencial of biobased materials for food packaging. **Trends in Food Science & Technology**. Denmark, n.10, p. 52-68, 1999.

PIERGIOVANNI, L. Materiais de embalagem e tecnologias de envase. In: BARUFFALDI, R. e DE OLIVEIRA, M. N. **Fundamentos de Tecnologia de Alimentos**. São Paulo: Editora Atheneu, 1998, v.3, p. 219-279.

QUAL é a simbologia brasileira de identificação de materiais? **Cempre**, Disponível em: <http://www.cempre.org.br>> Acesso em: 8 abr. 2003.

RAMOS, J. **Alternativas para o projeto ecológico de produtos**. Florianópolis. 163f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Santa Catarina. 2001.

REDDY, C. S. K. et al. Polihidroxicanoatos: an overview. **Bioresource Technology**, India, v.87, n.2, p. 137-146, abr. 2003.

RETENÇÃO, absorção e perda de aromas em embalagens plásticas. **Informativo CETEA**, Campinas. v.10, n.3, jul./ago./set. 1998. Disponível em:< <http://www.cetea.ital.org.br/cetea/informativo/>> Acesso em: 22 jan. 2003

ROBERTSON, G.L. **Food Packing: principle and practice**. New York: Marcel Dekker, 1993.

SARANTÓPOLOUS, C.I.G.L. et al. **Embalagens plásticas flexíveis: principais polímeros e avaliação de propriedades**. Campinas: CETEA/ITAL, 2002.

SAVENKOVA, L. et al. Mechanical properties and biodegradation characteristics of PHB-based films. **Process Biochemistry**, Letônia, n.35, p. 573-579, 2000.

SHIMAO, M. Biodegradation of plastics. **Current Opinion in Biotechnology**, Japão, n.12, p. 242-247, 2001.

SOTERO, A.P. Plásticos biodegradáveis trazem melhoria ambiental. **Jornal de Plásticos**, v.43. ago. 2000 Disponível em:
< <http://www.jorplast.com.br/jpago00/agoindex.htm> > Acesso em: 23 abr. 2003.

STEIN, M. **Desenvolvimento de metodologia para projeto de embalagens enfatizando aspectos estéticos para atratividade do produto**. Florianópolis, 1997.157p. Dissertação (Mestrado em Eng. de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina.

VILHENA, A. Brasil alcança bons níveis de reciclagem. **Embalagem Marca**, São Paulo, v6, n.39, nov. 2002. Documento Especial.

VILHENA, A. **O ramo de alimentos e a reciclagem do lixo**. Disponível em :
<http://www.cempre.org.br> > Acesso em 10 fev. 2003.

VON ZUBEN, F. **Cadernos de Artigos Os segredos da reciclagem**. São Paulo: Gerência de Desenvolvimento Ambiental da Tetra Pack, 2000.

WOLL, R.P. The Science and Engineering of Polymer Composite Degradation. In: **Degradable Polymers, Principles and Applications**. London: Chapman& Hall, 1995.

7. BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR:

A IMPORTÂNCIA da embalagem para o mundo moderno. Packing Magazine, São Paulo, v.5, n.33, abr./maio 2001.

A RECICLAGEM do lixo como oportunidade de negócios. **Cempre**, Disponível em: <http://www.cempre.org.br>> Acesso em: 10 fev. 2003.

ABRE NEWS.São Paulo: Nov. /Dez. v.6, n.41, 2002.

BARBETTA, P. A; MEINERT, E.S; TEIXEIRA, E. **Análise sensorial de alimentos.** Florianópolis: Ed. da UFSC, 1987.

BORGES, A. PET transforma-se em uma mina de negócios. **Gazeta Mercantil**, 24 mar.1999. Caderno C, p. 6, coluna 1-6.

CARDOSO, D.R. Design e meio ambiente. In: _____. **Uma introdução à história do design.** São Paulo: Edgard Blücher, 2000. p. 216-221.

CHEHEBE, J. R.B. Análise do ciclo de vida dos produtos - ferramenta gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed.1998.

Ecologia e desenvolvimento, São Paulo, v.11, n.96, p.10-20, set. 2001.

EBOLI, C. Coleta seletiva ajuda no resgate das embalagens PET. **Gazeta Mercantil**, São Paulo, 20 maio 2002.Saneamento e Saúde, p. C-5. coluna 1-2.

Ecodesign. Disponível em>:<http://www.abre.org.br/ecodesign.htm>. Acesso em 15/12/2001 a.

_____. **Indústrias devem estar atentas ao conceito de Design for Environment.** . Disponível em>:<http://www.bsb.netium.com.br/abipti/prêmios.htm>. Acesso em: 15 ago. 2001b.

EMBALAGEM biodegradável. **Globo Rural**. Rio de Janeiro, v.17, n.203, p. 52, set. 2002.

ENTREVISTA: em busca de representatividade. **Embalagem Marca**, São Paulo, v.4, n.32, p. 8-12 abr. 2002.

EVANGELISTA, J. Embalagens de alimentos. In: _____. **Tecnologia de Alimentos.** São Paulo: Editora Atheneu, 1989. p. 469-573.

FERNANDES, M.H. C. et al. **Migração de componentes de embalagens plásticas para alimentos.** Campinas:ITAL/SBSTA, 1987.

KAMIO,G. Cada vez mais reciclar poderá ser um bom negócio. **Embalagem Marca**, São Paulo, v.3, n.20, p. 1-8, mar. 2001.

KAMIO,G.; HABERLI, L. Design de embalagem 4º Semana: documento especial. **Embalagem Marca**, São Paulo, v.4, n.39, nov. 2002.

KISS, J. Plástico doce. **Globo Rural**. Rio de Janeiro, v.18, n.204, p.63-65, out. 2002.

KMITA,S. et. Al. Investigação da Aplicação do ecodesign em medidores elétricos. In: P&D Design, 2000, **Anais...** Novo Hamburgo, RS: Feevale, 2000. p. 353-360.

LEGISLAÇÃO brasileira de embalagens para contato com alimentos. **Informativo CETEA**, Campinas. v.14, n.3,jul./ago./set. 2002.Disponível em:<
<http://www.cetea.ital.org.br/cetea/informativo/>> Acesso em: 22 jan. 2003.

LEVY, G.M. **Packaging policy and the environment**. Gaithersburg, Maryland: Aspen Publishers, 2000.

LOCKS, J. Properties and applications of compostable starch-based plastic material. **Polymer Degradation and Stability**. Ireland, n.59, p 245-249, 1998.

MANAL, D.; ZEID, A.; MÜLLER, W. Degradation of natural and synthetic polyesters under anaerobic conditions. **Journal of Biotechnology**, n.86, p. 113-126, 2001.

Mazini,E. **A matéria da invenção**. Portugal: Editora Porto, 1993.

MEIO Ambiente já toma parte na concepção de embalagens. **Revista Nacional da Carne**, São Paulo, v.25, n.292, p.54-60, jun.2001.

MERCADO plástico abrindo novas frentes. **Pack**, São Paulo, v.6, n.65, p. 22-23, jan. 2003.

MOREIRA, P. F. Os sistemas de embalagem na logística e distribuição.In: Seminário A Importância da Embalagem para o Meio Ambiente, 2001, São Paulo. **Anais...**São Paulo: CETEA, 2001. p. 153-163.

NOVAES, W. et al. **Agenda 21 Brasileira- bases para discussão**. Brasília: MMA/PNUD, 2000.

OLIVEIRA, S. Resíduos sólidos: um problema de todos nós. **Pack**, São Paulo, v.6, n.63, p. 26, nov. 2002.

PAIVA, J. L. **Desenvolvimento de Produto - A necessidade do desenvolvimento de tecnologias Ambientalmente Sustentáveis**. In: 1ºCongresso Brasileiro de Gestão de Lin Chihcheng, Augusto, V. M. Fonseca e Enrico A. Colosino, 1999. p. 298-304.

PROGRESSO nos EUA e Reino Unido em biodegradáveis. **PACK**, São Paulo, v.6, n.61, p. 30-31, set. 2002.

ROMANO, L.N. **Metodologia de projeto de embalagem**. Florianópolis, 1996.172f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)-Universidade Federal de Santa Catarina.

SARON, E.S. Legislação brasileira para embalagens. **Pack Tecnologia de Embalagem**, São Paulo, v.6, n.62, p. 10-11, out. 2002.

SOARES, S. A hora da eco-concepção de produtos. **Informativo do CREA SC**, Florianópolis, v.2, n14, p. 6, ago. 2001.

TEIXEIRA, E. et al. Métodos Sensoriais. In: _____. **Análise sensorial de alimentos**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1987. p 65-119.

ZANUZZI, F. Embalagens. **Amanhã**, São Paulo, p.70-74, mar. 1999.

ANEXO I

LISTAS DE MÁQUINAS OU EQUIPAMENTOS UTILIZADOS:

NOME	MARCA	MODELO	TESTE/ENSAIO
Máquina Universal de Ensaios	Emic	DL 500 MF	- Compressão Dinâmica
Estufa Bacteriológica sem circulação de ar	Quimis	Q316B24	- Acondicionamento de amostras em determinada temperatura e secagem de amostras (ompressão dinâmica e biodegradação)
Microondas	Brastemp	DL 38	- Aquecimento/Descongelamento
Refrigerador Side By Side	Brastemp	PRS 70 A	- Acondicionamento
Espectrofotômetro duplo feixe UV/Visível	Shimadzu	UV 2401 OC	- Análise Passagem de Luz (200- 800 nm)
Micrômetro (0-25 mm) ponta plana precisão -0,01 mm	Mitutoyo	7502	- Espessura dos corpos de prova de biodegradação - Espessura dos potes e tampas injetadas
Balança Analítica (precisão 0,0001g)	Mettler Toledo	AG 285	Peso amostras (corpo de prova) - teste de biodegradação
Balança Semi Analítica (precisão 0,01 g)	Gehaka	BG 1000	- Determinação de Peso - Determinação da Capacidade Volumétrica
Paquímetro (precisão 0,01mm)	Mitutoyo	500/147	- Dimensões (contração do molde)
Peagâmetro	Micronal	P314	- pH (meios da biodegração)

ANEXO II

Tabela A: Dimensões Internas dos Potes (mm)

	Pote Natural		Pote Pigmentado		Pote PP	
	Comprimento do fundo	Largura do fundo	Comprimento do fundo	Largura do fundo	Comprimento do fundo	Largura do fundo
1	193,5	85,3	194,0	84,0	195,0	84,8
2	194,4	85,7	194,0	83,8	196,0	84,4
3	194,0	84,4	193,8	83,7	194,9	84,8
4	194,0	84,4	194,3	83,4	195,0	84,3
5	194,0	84,8	194,3	83,6	195,3	84,7
6	194,6	84,9	191,6	82,7	195,3	84,7
7	194,3	85,0	191,7	82,3	195,0	85
8	194,3	84,4	191,7	82,7	195,4	84,3
9	194,4	84,5	191,6	83,4	195,5	84,6
10	194,3	84,3	191,7	83,7	195,8	84,9
Média	194,2	84,8	192,9	83,3	195,4	84,7
Max	194,6	85,7	194,3	84	196,0	85,0
Min	193,5	84,3	191,6	82,3	194,9	84,3
DP	0,311983	0,457808	1,284134	0,469326	0,344965	0,249402

Tabela B: Distribuição da espessura da amostra de pote de PHB Pigmentado (mm)

	Unidade 1	Unidade 2	Unidade 3	Unidade 4	Unidade 5	Média das médias
Fundo	1,27	1,26	1,25	1,36	1,22	1,27
	1,28	1,27	1,25	1,39	1,24	
	1,26	1,26	1,23	1,36	1,22	
Média	1,27	1,26	1,24	1,37	1,23	
Calcanhar	1,35	1,38	1,37	1,45	1,43	1,40
	1,32	1,36	1,34	1,49	1,50	
	1,34	1,35	1,29	1,48	1,49	
Média	1,34	1,36	1,33	1,47	1,47	
Lateral	1,12	1,00	1,02	1,01	1,00	1,01
	1,02	1,01	1,01	1,00	1,04	
	0,96	0,98	1,04	1,01	0,99	
Média	1,03	1,00	1,02	1,01	1,01	
Borda	1,29	1,25	1,64	1,38	1,65	1,48
	1,39	1,30	1,65	1,40	1,71	
	1,30	1,27	1,73	1,46	1,82	
Média	1,33	1,273	1,67	1,41	1,73	

ANEXO II

Tabela C: Distribuição da espessura da amostra de pote de PHB Natural (mm)

	Unidade 1	Unidade 2	Unidade 3	Unidade 4	Unidade 5	Média das médias
Fundo	1,34	1,41	1,4	1,27	1,27	1,34
	1,37	1,46	1,35	1,26	1,25	
	1,34	1,47	1,38	1,29	1,25	
Média	1,35	1,45	1,38	1,27	1,26	
Calcanhar	1,35	1,35	1,57	1,48	1,45	1,44
	1,45	1,34	1,49	1,45	1,45	
	1,38	1,43	1,50	1,42	1,47	
Média	1,39	1,37	1,52	1,45	1,457	
Lateral	1,40	1,41	1,53	1,48	1,46	1,43
	1,42	1,25	1,51	1,48	1,43	
	1,36	1,35	1,50	1,50	1,39	
Média	1,39	1,34	1,51	1,49	1,43	
Borda	1,30	1,42	1,30	1,50	1,39	1,37
	1,32	1,40	1,32	1,25	1,42	
	1,32	1,41	1,32	1,43	1,40	
Média	1,31	1,41	1,31	1,39	1,40	

Tabela D: Distribuição da espessura da amostra de pote de PP (mm)

	Unidade 1	Unidade 2	Unidade 3	Unidade 4	Unidade 5	Média das médias
Fundo	1,27	1,24	1,26	1,28	1,30	1,27
	1,24	1,28	1,24	1,25	1,31	
	1,28	1,26	1,27	1,31	1,28	
Média	1,26	1,26	1,26	1,28	1,30	
Calcanhar	1,47	1,44	1,45	1,44	1,46	1,45
	1,45	1,45	1,41	1,47	1,45	
	1,44	1,46	1,42	1,48	1,44	
Média	1,45	1,45	1,43	1,46	1,45	
Lateral	1,39	0,96	1,06	0,97	1,00	1,09
	1,46	0,94	0,99	0,96	1,10	
	1,54	0,92	0,97	1,08	0,98	
Média	1,46	0,94	1,01	1,00	1,03	
Borda	1,45	1,27	1,31	1,44	1,32	1,36
	1,34	1,28	1,53	1,42	1,31	
	1,40	1,32	1,32	1,39	1,32	
Média	1,40	1,29	1,39	1,42	1,32	

ANEXO II

Tabela E: Distribuição da espessura da amostra de pote de PHB Pigmentado (mm)

	Unidade 1	Unidade 2	Unidade 3	Unidade 4	Unidade 5	Média das médias
Superfície	1,02	1,01	1,01	1,00	1,20	1,09
	1,19	1,18	1,19	1,08	1,19	
	1,03	1,05	1,00	1,00	1,19	
Média	1,08	1,08	1,07	1,03	1,19	
Saia	1,03	1,00	1,00	1,28	1,36	1,15
	1,05	1,04	1,04	1,32	1,38	
	1,00	1,00	1,08	1,31	1,32	
Média	1,03	1,01	1,04	1,30	1,35	
Borda	1,12	1,05	1,03	1,04	1,10	1,07
	1,15	1,03	1,05	1,03	1,09	
	1,10	1,07	1,03	1,02	1,11	
Média	1,12	1,05	1,04	1,03	1,10	

Tabela F: Distribuição da espessura da amostra de tampa de PHB (mm)

	Unidade 1	Unidade 2	Unidade 3	Unidade 4	Unidade 5	Média das médias
Superfície	0,95	0,95	0,93	0,96	0,99	0,95
	0,99	0,95	0,94	0,96	0,95	
	0,93	0,96	0,96	0,94	0,92	
Média	0,96	0,95	0,94	0,95	0,95	
Saia	1,39	1,46	1,37	1,45	1,55	1,46
	1,42	1,46	1,52	1,52	1,51	
	1,46	1,54	1,30	1,63	1,32	
Média	1,42	1,49	1,40	1,53	1,46	
Borda	1,00	0,98	1,00	1,05	1,03	1,00
	0,97	0,98	1,18	0,96	0,98	
	0,98	0,97	0,98	0,96	1,00	
Média	0,98	0,98	1,05	0,99	1,00	

ANEXO II

Tabela G: Distribuição da espessura da amostra de tampa de PP (mm)

	Unidade 1	Unidade 2	Unidade 3	Unidade 4	Unidade 5	Média das médias
Superfície	0,94	0,94	0,96	0,96	0,96	0,95
	0,96	1,03	0,93	0,95	0,93	
	0,95	0,97	0,96	0,93	0,94	
Média	0,95	0,98	0,95	0,95	0,94	
Saia	1,37	1,47	1,29	1,42	1,41	1,39
	1,39	1,43	1,29	1,47	1,37	
	1,39	1,47	1,29	1,43	1,43	
Média	1,38	1,46	1,29	1,44	1,40	
Borda	1,02	0,95	0,97	0,97	1,01	0,97
	0,92	0,95	0,95	0,99	0,97	
	1,00	0,95	0,96	0,96	0,98	
Média	0,98	0,95	0,96	0,97	0,99	

Tabela H: Determinação individual de peso (massa) das amostras (g)

Amostra	Peso das Amostras Pote			Peso das Amostras Tampa		
	Padrão PP	PHB natural	PHB pigmentado	PP tampa	PHB natural	pigmentado
1	41,2	56,02	59,3	27,5	38,7	42,3
2	41,3	58,6	57,2	27,6	40,6	42,0
3	41,1	55,5	59,5	38,6	40,6	43,0
4	41,4	56,1	58,9	27,6	40,5	43,2
5	41,4	56,3	57,2	27,8	39,1	46,7
6	41,2	60,2		27,6	40,4	43,8
7	41,2	59,7		27,6	39,0	41,8
8	41,3	55,4		27,6	40,0	43,0
9	41,4	59,9		27,6	39,5	46,4
10	41,3	56,1		27,7	39,5	46,4
Pote	PP	PHB N	PHB P	PP	PHB N	PHB P
Média	41,3	57,4	58,4	28,7	39,8	43,9
Máximo	41,4	60,2	59,5	38,6	40,6	46,7
Mínimo	41,1	55,4	57,1	27,5	38,6	41,8
Desvio Padrão	0,10	1,98	1,14	3,47	0,73	1,91

ANEXO II

Gráfico A: Distribuição da espessura no fundo do pote

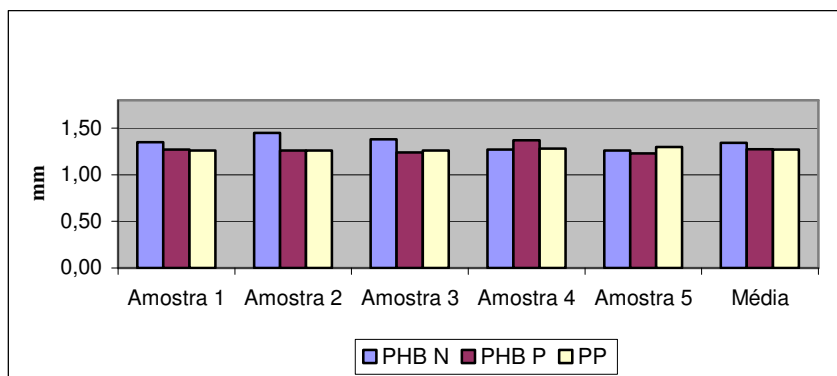


Gráfico B: Distribuição da espessura no calcanhar do pote

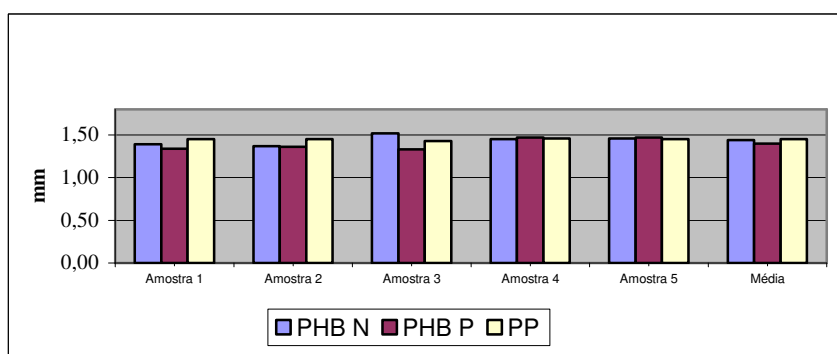
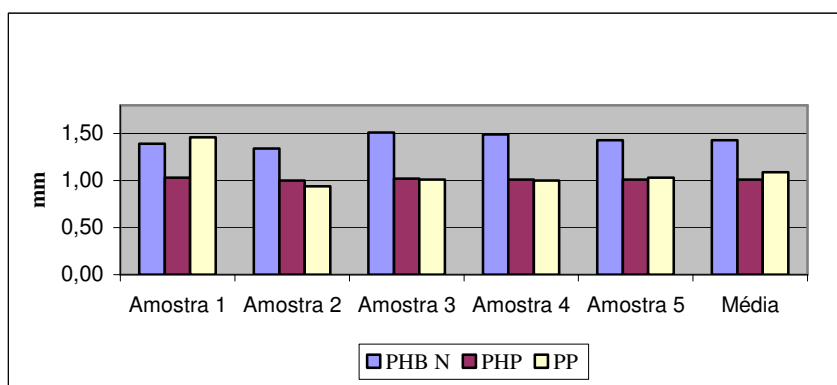


Gráfico C: Distribuição da espessura na lateral do pote



ANEXO II

Gráfico D: Distribuição da espessura na borda do pote

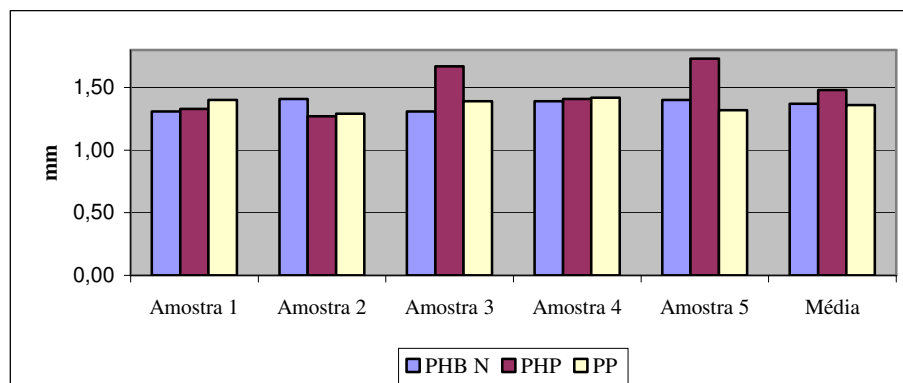


Gráfico E: Distribuição da espessura na superfície da tampa

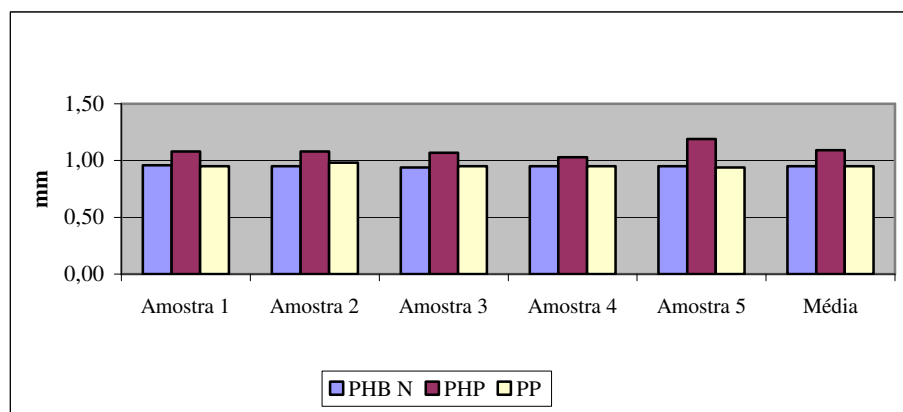
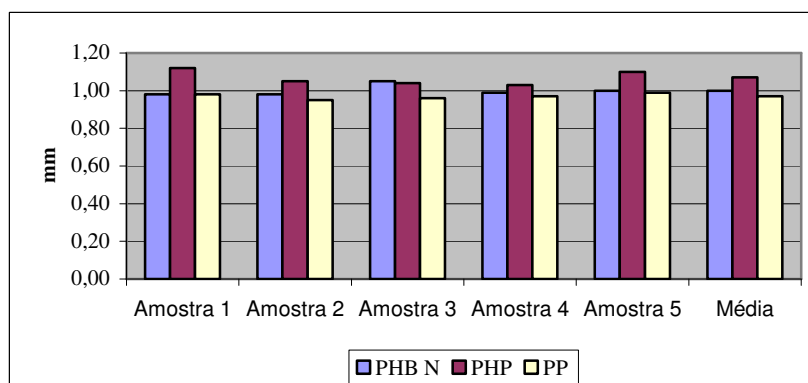
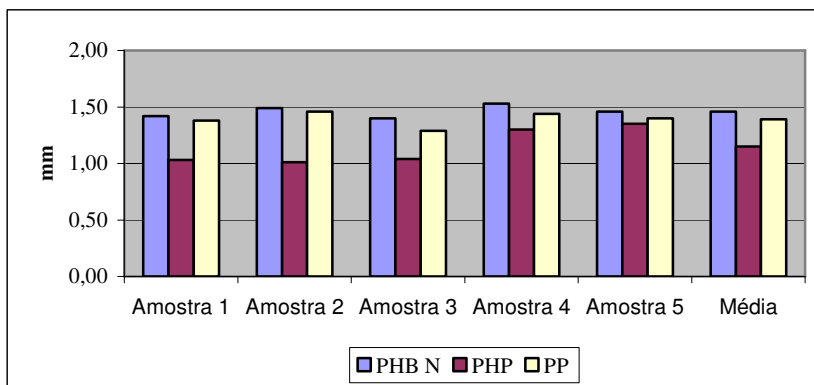


Gráfico F: Distribuição da espessura na borda da tampa



ANEXO II

Gráfico G: Distribuição da espessura na saia da tampa



ANEXO III

Tabela A: Valores da densidade da água tratada em função da temperatura:

Temperatura °(C)	Densidade da água (g/cm ³)	Temperatura °(C)	Densidade da água (g/cm ³)
4	1,00003	20	0,99717
5	0,99888	21	0,99696
6	0,99886	22	0,99674
7	0,99882	23	0,99652
8	0,99877	24	0,99628
9	0,99871	25	0,99603
10	0,99863	26	0,99577
11	0,99854	27	0,99551
12	0,99844	28	0,99523
13	0,99832	29	0,99494
14	0,99819	30	0,99465
15	0,99805	31	0,99435
16	0,99789	32	0,99403
17	0,99773	33	0,99371
18	0,99755	34	0,99339
19	0,99737	35	0,99305

Fonte: (ALVES, et al. 1998, p. 81)

Tabela B: Massa de água correspondente à capacidade volumétrica dos potes(g)

Repetição	Massa de PHB N (g)	Massa de PHB P(g)	Massa de PP(g)
1	666,4	669,58	653,8
2	648,1	665,99	674,7
3	650,9	647,33	665,3
4	670,7	665,90	688,7
5	643,0	653,74	659,5
6	658,0	664,03	672,9
7	669,5	644,23	677,8
8	663,8	658,23	678,99
9	670,5	666,29	649,03
10	649,8	669,51	677,3
Média	659,0	660,48	669,8
Máximo	670,7	669,58	688,7
Mínimo	643,0	644,23	653,8
Desvio Padrão	10,45	9,18	12,51

Nota: PHB N – Natural
PHB P – Pigmentado

ANEXO III

Quadro A: Tolerância para a capacidade volumétrica de embalagens plásticas, segundo a norma ASTM D 2911-94 (1997)

Mililitros	
Capacidade total	Tolerância (\pm)
Menos que 22	1,5
22 menos que 35	2,0
35 menos que 47	2,5
47 menos que 62	3,0
62 menos que 83	3,5
83 menos que 115	4
115 menos que 159	5
159 menos que 218	6
218 menos que 289	7
289 menos que 384	9
384 menos que 531	11
531 menos que 767	13
767 menos que 1092	15
1092 menos que 1505	20
1505 menos que 2125	24
2125 menos que 2892	30
2892 menos que 3512	38
3512 menos que 4103	44
4103 menos que 4723	53
4723 menos que 5313	59
5313 menos que 6199	65
6199 até 18,89 litros	1% da capacidade

Fonte: (ALVES, et al. 1999, p. 78)

ANEXO IV

Interpretação dos Gráficos de Resistência a Compressão Dinâmica

Como seria impossível de interpretar os gráficos referente a cinco amostras se eles estivessem colocados uns sobre os outros, optou-se por deslocar cada um duas posições (quadrados) para direita. Então, para interpretar os gráficos deslocar o eixo vertical duas posições para a direita, para a leitura dos dados da amostra seguinte.

ANEXO V

Caracterização de defeitos em embalagens rígidas - terminologia padronizada pela ASTM D2562-94(1997)

1. Formato e dimensões

2. Tipo do material

3. Material com odor indesejável

4. Presença na embalagem de:

- bolhas de ar: inclusão gasosa na massa do plástico;
- furos;
- amassamento;
- trincas: falha que atravessa toda a espessura de parede da embalagem;
- fraturas: ruptura restrita à superfície do material;
- rebarbas: excesso de material, projetando-se para fora das bordas e/ou área de fechamento;
- sujidades: pós e substâncias estranhas que não podem ser removidas somente com emprego de ar;
- riscos: dobras finas na superfície da embalagem, dando a impressão de estar riscada;
- inclusões: inclusões de partículas (metálicas ou não metálicas) na massa plástica;
- olho de peixe: massa globular plástica pequena que não se misturou completamente ao material da embalagem; sendo particularmente evidente em materiais transparentes ou translúcidos;
- abaulamento: material visivelmente deformado;
- estufamento: deformação para fora das faces da embalagem;
- chupado: deformação para dentro das faces da embalagem;
- pinta preta;
- má distribuição de espessura: variação irregular da espessura da embalagem;
- fundo caído: fundo rebaixado, provocando uma instabilidade da embalagem quando colocada sobre a superfície plana;

ANEXO V

Caracterização de defeitos em embalagens rígidas - terminologia padronizada pela ASTM D2562-94(1997)

- costura palpável: costura do molde de sopro palpável na superfície da embalagem;
5. A área de fechamento não deve apresentar:
- bocal ou terminação malformado: bocal com falta de material nesta região;
 - abaulamento do bocal ou superfície de vedação deformada: bocal ou terminação não completamente formado ou que não possui uma superfície de vedação plana, comprometendo a vedação do sistema de fechamento;
 - no caso de embalagens com fechamento tipo rosca:
 - ✓ rosca quebrada;
 - ✓ rosca curta, deformada ou incompleta;
 - ✓ lascas ou riscos nos filetes de rosca.

Adaptado (ALVES et al. 1998, p. 87)

ANEXO VI

Varredura de 3 amostras de cada material: PHB natural, PHB pigmentado e PP

Gráfico A:– Varredura de 250-750 nm das 3 Amostras de PHB natural

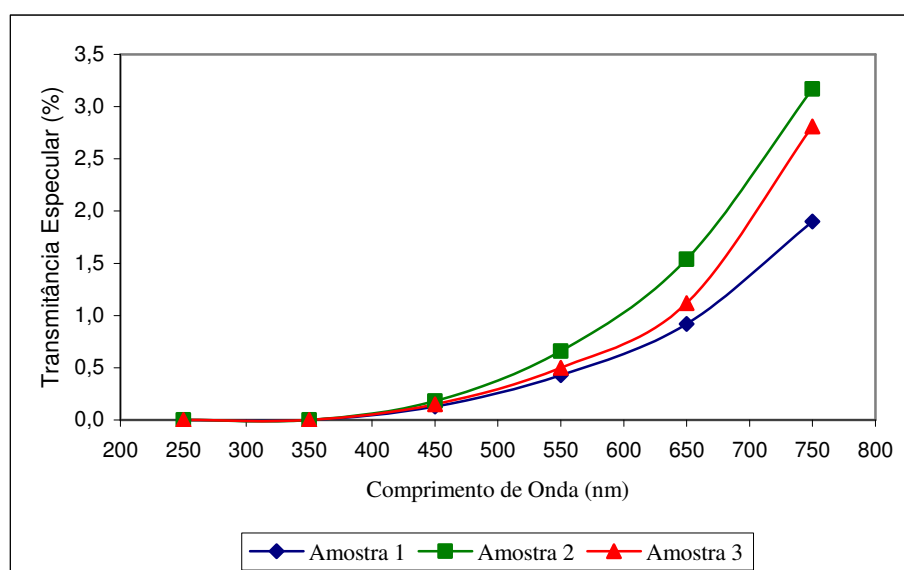
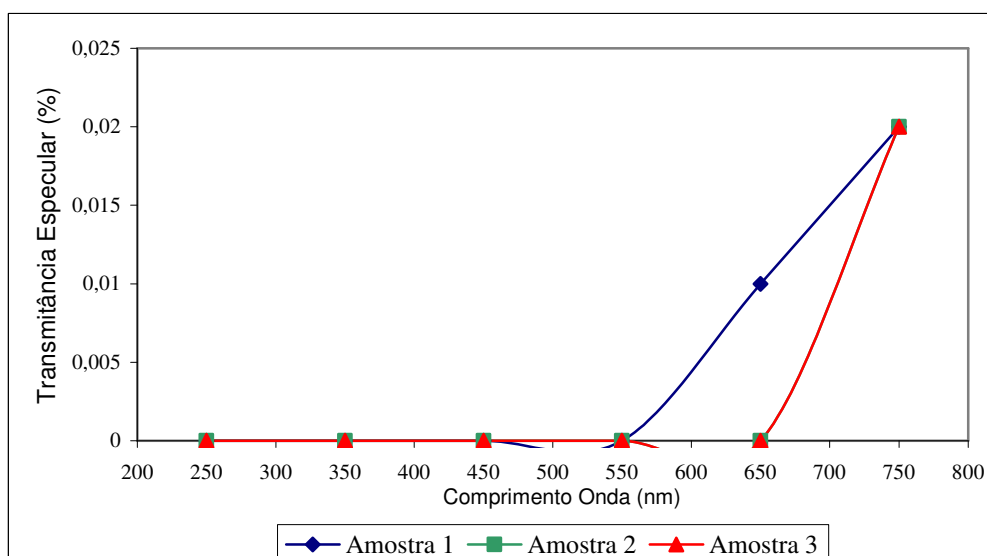
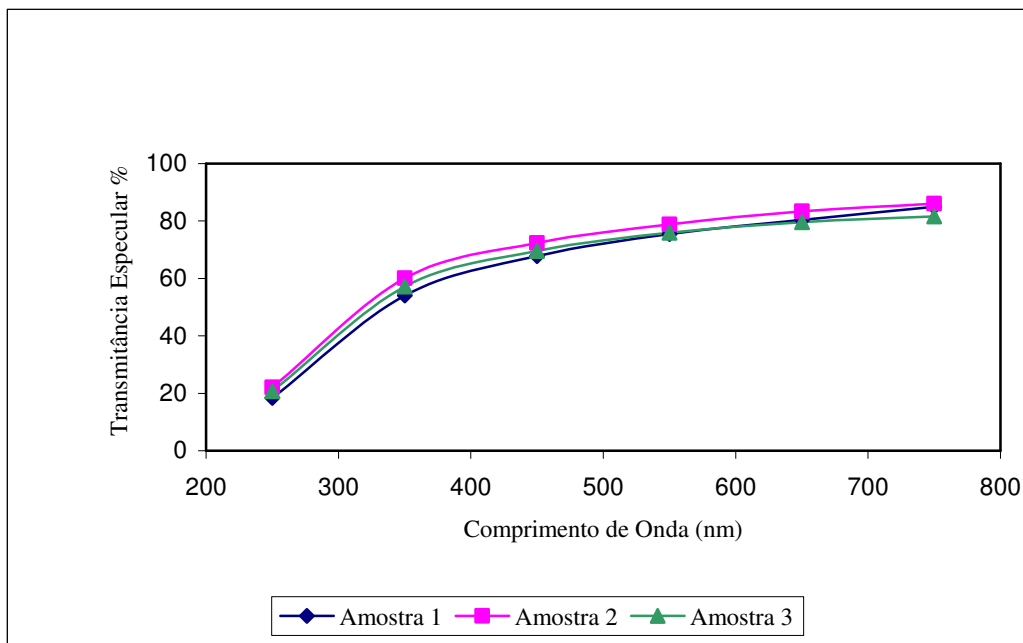


Gráfico B: Varredura de 250-750 nm das 3 amostras de PHB pigmentado



ANEXO VI

Gráfico C: Varredura de 250-750 nm das 3 amostras de PP



ANEXO VII**TESTE INTENSIDADE DE ODOR****Nome:** _____**Data:** _____**Amostra:** _____

- Avalie as duas amostras quanto à intensidade de odor, classificando-as de acordo com a escala de Odor Estranho sugerida abaixo:

Código da Amostra	Classificação

Escala de odor estranho

1. Nenhum odor estranho
2. Muito ligeiro
3. Ligeiro
4. Moderado
5. Moderadamente forte
6. Forte
7. Muito forte

ANEXO VIII**TESTE TRIANGULAR EXPANDIDO****Avaliação de Sabor**

Nome: _____

Data: _____

Amostra: _____

- Avalie as três amostras na ordem especificada. Faça um círculo ao redor do número da amostra diferente.

Grupo	Código da Amostra	Amostra Diferente	Intensidade da Diferença
I			
II			
III			

Indique a intensidade da diferença percebida:

- Nenhuma diferença
- Muito fraca
- Fraca
- Moderada
- Forte
- Muito forte

ANEXO IX

Tabela A: Interpretação do teste de comparação múltipla

Julgadores	CÓDIGO DE AMOSTRA: ÁGUA – ODOR			Total de Julgamentos
	PHB	PP	Padrão	
1	6	4	1	11
2	5	3	4	12
3	5	2	3	10
4	6	5	4	15
5	7	4	6	17
6	6	4	1	11
7	5	4	3	12
8	6	5	1	12
9	2	2	1	5
10	4	6	3	13
11	6	3	2	11
12	6	3	4	13
TOTAL	64	45	33	142
MÉDIA	5,33	3,75	2,75	

Análise de Variância

$$1) C = \text{Fator de correção} = \frac{(\text{total})^2}{\text{n}^\circ \text{ de julgamentos totais}}$$

$$C = \frac{(142)^2}{12 \times 3} = 560,11$$

2) SQA = Soma dos quadrados das amostras

$$SQA = \frac{\text{soma dos quadrados de cada amostra}}{\text{n}^\circ \text{ de julgamentos para cada amostra}} - C$$

$$SQA = \frac{(64)^2 + (45)^2 + (33)^2}{12} - 560,11 = 40,72$$

3) Soma dos quadrados dos julgadores

$$SQJ = \frac{\text{SQ do total de cada julgador}}{\text{n}^\circ \text{ de julgamentos de cada julgador}} - C$$

ANEXO IX

$$SQJ = \frac{(11)^2 + (12)^2 + (10)^2 + (15)^2 + (17)^2 + (11)^2 + (12)^2 + (12)^2 + (5)^2 + (13)^2 + (11)^2 + (13)^2}{3} - C$$

$$SQJ = \frac{1772}{3} - 560,11 = 30,55$$

4) SQT = SQ totais

SQT = SQ totais = soma dos quadrados de cada julgamento – C

$$SQT = (6)^2 + (4)^2 + (1)^2 + (5)^2 + (3)^2 + (4)^2 + \dots + (6)^2 + (3)^2 + (4)^2 - 560,11$$

$$SQT = 103,89$$

5) SQR = Soma dos quadrados de resíduo

SQR = diferença da soma dos quadrados totais com as demais somas dos quadrados

$$SQR = SQT - (SQA + SQJ)$$

$$SQR = 103,89 - (40,72 + 30,55) = 32,62$$

Quadro A: Quadrado de Análise de Variância para o teste de comparação múltipla

CV	GL	SQ	QM	F
Amostras	2	40,72	20,36	13,75
Julgadores	11	30,55	2,77	-
Resíduo	22	32,62	1,48	-
Total	35	103,89		

CV = causa de variação

GL = graus de liberdade = n^o de eventos – 1

SQ = soma dos quadrados

QM = quadrado médio = $\frac{\text{soma dos quadrados}}{\text{graus de liberdade}}$

F = função estatística = $\frac{QMA}{QMR}$

F = tabela 5% = 3,44

* Valor de F obtido = 13,75

* O valor de F obtido (calculado) é maior ao da tabela G então, há diferença significativa entre as amostras.

ANEXO IX

* De acordo com o resultado obtido, podemos afirmar que as amostras testadas diferem entre si a nível de 5% de significância.

- Quanto a diferença, podemos determiná-la através de um teste de média

TESTE DE DUNNETT

dms = diferença mínima significativa

D = tabela H unilateral, a nível de erro = 5%, nº de tratamentos excluindo o padrão = 2 e nº de graus de liberdade do resíduo = 22

r = nº de repetições ou julgamentos

$$dms = D \sqrt{\frac{2(QMR)}{r}} = 2,35 \sqrt{\frac{2(1,48)}{12}} = 0,498$$

* Comparando-se as diferenças entre as médias dos tratamentos com os padrões

PHB = 5,33* - 2,75* = 2,58 – diferença entre si

PP = 3,75* - 2,75* = 1,0 – diferença entre si

PHB - PP = 5,33* - 3,75* = 1,58 – diferença entre si a nível de 5%

* Valores obtidos fazendo-se a média da nota dada pelos julgadores (veja tabela A)

ANEXO IX

Tabela B: Interpretação do teste triangular

Julgadores	CÓDIGO DE AMOSTRA: REQUEIJÃO		
	G I	G II	G III
1	0	0	1
2	0	0	1
3	0	0	1
4	0	0	0
5	0	1	0
6	1	1	1
7	0	0	0
8	0	1	0
9	0	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0
12	0	0	0
13	0	1	1
TOTAL 39	1	4	5

Obs.: Respostas corretas 10.

Interpretação: Para 39 julgamentos, consultando a tabela F, em nível de significância de 5%, deveria haver 19 respostas corretas, portanto não há diferença significativa a 5%.

Tabela C: Interpretação do teste triangular

Julgadores	CÓDIGO DE AMOSTRA: ÁGUA		
	G I	G II	G III
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	1	1
4	1	1	1
5	1	1	1
6	1	1	1
7	0	1	1
8	1	0	1
9	1	0	0
10	0	1	1
11	0	0	1
12	1	0	0
13	0	0	1
TOTAL 39	6	6	9

Obs.: Respostas corretas 21.

Interpretação: Para 39 julgamentos, consultando a tabela F, em nível de significância de 5%, deveria haver 19 respostas corretas, portanto há diferença significativa a 5%.

ANEXO IX

Tabela D: Interpretação do teste triangular

Julgadores	CÓDIGO DE AMOSTRA: MARGARINA		
	G I	G II	G III
1	1	0	0
2	1	0	0
3	0	1	1
4	1	0	1
5	0	1	0
6	0	1	0
7	0	1	0
8	0	0	1
9	1	1	0
10	1	1	1
11	1	0	0
12	0	0	0
13	0	1	1
TOTAL	6	7	5

Obs.: Respostas corretas 18.

Interpretação: Para 39 julgamentos, consultando a tabela F, em nível de significância de 5%, deveria haver 19 respostas corretas, portanto não há diferença significativa a 5%.

Tabela E: Interpretação do teste triangular

Julgadores	CÓDIGO DE AMOSTRA: MAIONESE		
	G I	G II	G III
1	0	0	0
2	1	1	0
3	1	0	0
4	0	0	0
5	0	0	1
6	0	0	1
7	1	1	0
8	0	0	0
9	0	0	1
10	0	1	1
11	1	1	0
12	0	1	1
13	1	0	1
TOTAL	5	5	6

Obs.: Respostas corretas 16.

Interpretação: Para 39 julgamentos, consultando a tabela F, em nível de significância de 5%, deveria haver 19 respostas corretas, portanto não há diferença significativa a 5%.

ANEXO IX

Tabela F: Significância no teste triangular ($P = 1/3$)

Nº de julgamentos	Nº de respostas corretas necessárias para estabelecer diferenças significativa			Nº de julgamentos	Nº de respostas corretas necessárias para estabelecer diferenças significativa		
	P = 0.05	P = 0.01	P = 0.001		P = 0.05	P = 0.01	P = 0.001
	+	++	+++		+	++	+++
7	5	6	7	57	27	29	31
8	6	7	8	58	27	29	32
9	6	7	8	59	27	30	32
10	7	8	9	60	28	30	33
11	7	8	9	61	28	30	33
12	8	9	10	62	28	31	33
13	8	9	10	63	29	31	34
14	9	10	11	64	64	32	34
15	9	10	11	65	30	32	35
16	10	11	12	66	30	32	35
17	10	11	13	67	30	33	36
18	10	12	13	68	31	33	36
19	11	12	14	69	31	34	36
20	11	13	14	70	32	34	37
21	12	13	15	71	32	34	37
22	12	14	15	72	32	35	38
23	13	14	16	73	33	35	38
24	13	14	16	74	33	36	39
25	13	15	17	75	34	36	39
26	14	15	17	76	34	36	39
27	14	16	18	77	34	37	40
28	15	16	18	78	35	37	40
29	15	17	19	79	35	38	41
30	16	17	19	80	35	38	41
31	16	18	19	81	36	38	41
32	16	18	20	82	35	39	42
33	33	17	19	83	37	39	42
34	17	19	21	84	37	40	43
35	18	19	21	85	37	40	43
36	18	19	21	86	38	40	44
37	18	20	22	87	38	41	44
38	19	21	23	88	39	41	44
39	19	21	23	89	39	42	45
40	20	22	24	90	39	42	45
41	20	22	24	91	40	42	46
42	21	22	25	92	40	43	46
43	21	23	25	93	40	43	46
44	21	13	25	94	41	44	47
45	22	24	26	95	41	44	47
46	22	24	26	96	42	44	48
47	23	25	27	97	42	45	48
48	23	25	27	98	42	45	49
49	23	25	28	99	43	46	49
50	24	26	28	100	43	46	49
51	24	26	29	200	80	84	89
52	25	27	29	300	117	122	127
53	25	27	29	400	152	158	165
54	25	27	30	500	185	194	202
55	26	28	30	1000	363	372	383
56	26	28	31	2000	709	722	737

Fonte: ASTM, 1968 apud DUTCOSKY, 1996, p. 109

ANEXO IX

Tabela G: Limites unilaterais de “F” ao nível de 5% de probabilidade para o caso de $F > 1$.

n1 = grau de liberdade da amostra ou provador

n2 = grau de liberdade do resíduo.

n2 \ n1	1	2	3	4	5	6	8	12	24	∞
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	238.9	243.9	249.0	254.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.37	19.41	19.45	19.50
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.84	8.74	8.64	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.04	5.91	5.77	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.82	4.68	4.53	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.15	4.00	3.84	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.73	3.57	3.41	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.44	3.28	3.12	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.23	3.07	2.90	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.07	2.91	2.74	2.54
11	4.48	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	2.95	2.79	2.61	2.40
12	4.75	3.88	3.49	3.26	3.11	3.00	2.85	2.69	2.50	2.30
13	4.67	3.80	3.41	3.18	3.02	2.92	2.77	2.60	2.42	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.70	2.53	2.35	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.64	2.48	2.29	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.59	2.42	2.24	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.55	2.38	2.19	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.51	2.34	2.15	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.48	2.31	2.11	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.45	2.28	2.08	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.42	2.25	2.05	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.40	2.23	2.03	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.38	2.20	2.00	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.36	2.18	1.98	1.73
25	4.24	3.38	2.99	2.76	2.60	2.49	2.34	2.16	1.96	1.71
26	4.22	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.32	2.15	1.95	1.69
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.30	2.13	1.93	1.67
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.44	2.29	2.12	1.91	1.65
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.54	2.43	2.28	2.10	1.90	1.64
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.27	2.09	1.89	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.18	2.00	1.79	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.52	2.37	2.25	2.10	1.92	1.70	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.02	1.83	1.61	1.25
∞	3.84	2.99	2.37	2.37	2.21	2.09	1.94	1.75	1.52	1.00

Fonte: PIMENTEL GOMES, F. 1987 apud DUTCOSKY, 1996, p. 116

ANEXO IX

Tabela H: Valores de D para teste unilateral de Dunnett para α (nível de erro) = 5%, segundo o número de tratamentos (p) excluindo o controle e número de graus de liberdade do resíduo (n')

n'	p								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	2,02	2,44	2,68	2,85	2,98	3,08	3,16	3,24	3,30
6	1,94	2,34	2,56	2,71	2,83	2,92	3,00	3,07	3,12
7	1,89	2,27	2,48	2,62	2,73	2,82	2,89	3,95	3,01
8	1,86	2,22	2,42	2,55	2,66	2,74	2,81	2,87	2,92
9	1,83	2,18	2,37	2,50	2,60	2,68	2,75	2,81	2,86
10	1,81	2,15	2,34	2,47	2,56	2,64	2,70	2,76	2,81
11	1,80	2,13	2,31	2,44	2,53	2,60	2,67	2,72	2,77
12	1,78	2,11	2,29	2,41	2,50	2,58	2,64	2,69	2,74
13	1,77	2,09	2,27	2,39	2,48	2,55	2,61	2,66	2,71
14	1,76	2,08	2,25	2,37	2,46	2,53	2,59	2,64	2,69
15	1,75	2,07	2,24	2,36	2,44	2,51	2,57	2,62	2,67
16	1,75	2,06	2,23	2,34	2,43	2,50	2,56	2,61	2,65
17	1,74	2,05	2,22	2,33	2,42	2,49	2,54	2,59	2,64
18	1,73	2,04	2,21	2,32	2,41	2,48	2,53	2,58	2,62
19	1,73	2,03	2,20	2,31	2,40	2,47	2,52	2,57	2,61
20	1,72	2,03	2,19	2,30	2,39	2,46	2,51	2,56	2,60
24	1,72	2,01	2,17	2,28	2,36	2,43	2,48	2,53	2,57
30	1,70	1,99	2,15	2,25	2,33	2,40	2,45	2,50	2,54
40	1,68	1,97	2,13	2,23	2,31	2,37	2,42	2,47	2,51
60	1,67	1,95	2,10	2,21	2,28	2,35	2,39	2,44	2,48
120	1,66	1,93	2,08	2,18	2,26	2,32	2,37	2,41	2,45

Fonte: GALUCA & SINGH, 1984 apud DUTCOSKY, 1996, p. 118

ANEXO X

Tabela A: Valores percentuais dos componentes de terra de jardim

PERCENTAGEM %	TIPO DE CONSTITUINTE
25,00	Argila
21,00	Casca
21,00	Carvão vegetal triturado
9,20	Cama de aviário
10,30	Fumo compostado (quatro anos)
10,30	Húmus de minhoca
2,30	Casca de ovo
0,23	Adubo químico NPK (nitrogênio, fósforo e potássio)
0,13	Fósforo
0,23	Calcáreo
0,23	Farinha de Sangue
0,23	Farinha de osso
0,23	Farinha de Mamona
0,03	Uréia + Fe (Ferro)

ANEXO X

Tabela B: Dados do teste de biodegração no Meio I – Água Potável

MEIO I - Água Potável							
Tempo dias	0	30	60	90	120	150	180
Início/data	12/09/02	09/10/02	07/11/02	05/12/02	14/01/03	13/02/03	13/03/03
pH do meio	8,49	8,13	7,26	6,07	7,01	7,55	7,78
Índice Pluviométrico mm	84,3	165,6	132,4	124,5	165,3	70,6	71,5
Temp. Média Mensal °C	19,3	18,7	23,4	24,4	25,8	26,8	28,8
mi 1(g)		1,1611	1,3764	1,4031	1,4647	1,1327	1,4512
mi 2(g)		1,0264	1,5111	1,4596	1,5231	1,4264	1,0788
mi 3(g)		1,1430	1,5235	1,2237	1,3901	1,4092	1,4297
mi 4(g)		1,1630	1,0809	1,1123	1,1014	1,3205	1,0956
mi 5(g)		1,1360	1,2683	1,4553	1,4549	1,6727	1,4646
mi. média		1,1259	1,3520	1,3308	1,3868	1,3923	1,3040
mi. máx		1,1630	1,5235	1,4596	1,5231	1,6727	1,4646
mi. mín.		1,0264	1,0809	1,1123	1,1014	1,1327	1,0788
Desvio Padrão		0,0568	0,18427	0,15535	0,16639	0,1953	0,1984
mf 1(g)		1,6540	1,3790	1,4048	1,4555	1,1349	1,4530
mf 2(g)		1,0301	1,5136	1,461	1,5235	1,4291	1,0790
mf 3(g)		1,1470	1,5225	1,224	1,3905	1,4112	1,4311
mf 4(g)		1,1670	1,0826	1,1123	1,1007	1,3229	1,0973
mf 5(g)		1,1170	1,2713	1,4565	1,4558	1,6770	1,4668
mf. média		1,2230	1,3538	1,3317	1,3852	1,3950	1,3054
mf. máx		1,6540	1,52250	1,46100	1,52350	1,6770	1,4668
mf. mín.		1,0301	1,08260	1,11230	1,10070	1,1349	1,0790
Desvio Padrão		0,2465	0,18370	0,15602	0,16585	0,1961	0,1989
variação média em (g)		-0,0971	-0,00176	-0,00092	0,00164	-0,0027	-0,0015
variação média em %		-8,63	-0,13	-0,07	0,12	-0,20	-0,11

Nota: mi = massa inicial
mf = massa final

ANEXO X

Tabela C: Dados do teste de biodegração no Meio II – Esterco

MEIO II - Esterco							
Tempo	0	30	60	90	120	150	180
Início/data	10/09/02	09/10/02	07/11/02	05/12/02	14/01/03	13/02/03	13/03/03
pH do meio	8,29	6,71	6,83	7,19	6,3	6,84	7,77
Índice Pluviométrico mm	84,3	165,6	132,4	124,5	165,3	70,6	71,5
Temp.Média Mensal °C	19,3	18,7	23,4	24,4	25,8	26,8	28,8
mi 1(g)		1,3961	1,4106	1,6480	1,4268	1,6059	1,6005
mi 2(g)		1,5227	1,4152	1,5750	1,4503	1,6601	1,5806
mi 3(g)		1,6878	1,1360	1,1535	1,5821	1,4687	1,5843
mi 4(g)		1,4496	1,1043	1,6004	1,5630	1,4355	1,2238
mi 5(g)		1,3283	1,1568	1,5543	1,2947	1,3877	1,4308
mi. média		1,4769	1,2446	1,5062	1,4634	1,5116	1,4840
mi. máx		1,6878	1,4152	1,6480	1,5821	1,6601	1,6005
mi. mín.		1,3283	1,1043	1,1535	1,2947	1,3877	1,2238
Desvio Padrão		0,137779	0,154796	0,200266	0,116169	0,116112	0,160856
mf 1(g)		1,3379	1,3162	1,4717	1,1421	1,1426	0,9654
mf 2(g)		1,4899	1,3050	1,2952	1,1068	1,322	0,8623
mf 3(g)		1,6491	1,0173	0,9449	1,1694		0,8426
mf 4(g)		1,4094	1,0134	1,4483	1,238	1,0447	0,441
mf 5(g)		1,2693	1,0248	1,381	0,9442	1,0344	0,9633
mf. média		1,4311	1,13534	1,30822	1,1201	1,135925	0,81492
mf. máx		1,6491	1,3162	1,4717	1,238	1,322	0,9654
mf. mín.		1,2693	1,0134	0,9449	0,9442	1,0344	0,441
Desvio Padrão		0,1469	0,1601	0,2144	0,1095	0,1333	0,2165
variação média. em (g)		0,0458	0,1092	0,1980	0,3433	0,3757	0,6691
variação média em %		3,10	8,78	13,15	23,46	24,85	45,09

Nota: mi = massa inicial
mf = massa final

ANEXO X

Tabela D: Dados do teste de biodegração no Meio III – Resíduos Domésticos

MEIO III - Resíduos Domésticos				
Tempo dias	0	30	60	90
Início/data	04/09/02	09/10/02	07/11/02	05/12/02
pH do meio	8,35	8,62	9,10	6,96
Índice Pluviométrico mm	84,3	165,6	132,4	124,5
Temp. Média Mensal °C	19,3	19,7	23,40	24,4
mi 1(g)		1,5900	1,3617	1,6074
mi 2(g)		1,1070	1,5496	1,5680
mi 3(g)		1,1687	1,0756	1,1785
mi 4(g)		1,3713	1,4106	1,4884
mi 5(g)		1,4779	1,0129	1,5999
mi. média		1,3430	1,2821	1,4884
mi. máx		1,5900	1,5496	1,6074
mi. mín.		1,1070	1,0129	1,1785
Desvio Padrão		0,203767	0,228864	0,17956
mf 1(g)		1,5861	0,6314	0
mf 2(g)		1,0686	1,0562	0
mf 3(g)		1,1228	0	0
mf 4(g)		1,3284	0,5344	0
mf 5(g)		1,4408	0	0
mf. média		1,30934	0,4444	0
mf. máx		1,5861	1,0562	0
mf. mín.		1,0686	0	0
Desvio Padrão		0,216214	0,450653	0
variação média. em (g)		0,0336	0,8377	1,4884
variação média em %		2,504877	65,33758	100

Nota: mi = massa inicial
mf = massa final

ANEXO X

Tabela E: Dados do teste de biodegração no Meio IV – Terra de Jardim

MEIO IV - Terra de Jardim							
Tempo	0	30	60	90	120	150	180
Início/data	04/09/02	09/10/02	07/11/02	05/12/02	14/01/03	13/02/03	13/03/03
pH do meio	6,64	7,49	7,30	6,5	7,15	8,1	6,77
Índice Pluviométrico mm	84,3	165,6	132,4	124,5	165,3	70,6	71,5
Temp.Média Mensal °C	19,3	18,7	23,4	24,4	25,8	26,7	28,8
mi 1(g)		1,690	1,149	1,223	1,095	1,169	1,251
mi 2(g)		1,351	1,581	1,494	1,548	1,429	1,121
mi 3(g)		1,038	1,213	1,187	1,422	1,104	1,406
mi 4(g)		1,569	1,075	1,153	1,569	1,189	1,481
mi 5(g)		1,588	1,310	1,442	1,413	1,118	1,373
mi. média		1,447	1,265	1,300	1,410	1,202	1,326
mi. máx		1,690	1,581	1,494	1,569	1,429	1,481
mi. mín.		1,038	1,075	1,153	1,095	1,104	1,121
Desvio Padrão		0,260105	0,196455	0,156703	0,189603	0,131641	0,141665
mf 1(g)		1,6041	0,9754	0,9842	0,8484	0,5969	0,7641
mf 2(g)		1,2974	1,3401	1,3031	1,1201	1,0228	0,6481
mf 3(g)		0,9756	1,1465	1,0193	1,1412	0,701	1,0104
mf 4(g)		1,5059	0,8785	0,9455	1,2532	0,7444	1,1573
mf 5(g)		1,5116	1,1426	1,2036	1,1674	0,6446	0,9281
mf. média		1,37892	1,09662	1,09114	1,10606	0,74194	0,9016
mf. máx		1,6041	1,3401	1,3031	1,2532	1,0228	1,1573
mf. mín.		0,9756	0,8785	0,9455	0,8484	0,5969	0,6481
Desvio Padrão		0,251866	0,177592	0,15442	0,152671	0,16664	0,200681
variação média. em (g)		0,068	0,169	0,209	0,304	0,460	0,425
Varição média em %		4,72	13,34	16,04	21,54	38,25	32,01

Nota: mi = massa inicial
mf = massa final

ANEXO X

Tabela F: Dados do teste de biodegração no Meio V – Lodo

MEIO V - Lodo							
Tempo	0	30	60	90	120	150	180
Início/data	10/09/02	09/10/02	07/11/02	05/12/02	14/01/03	13/02/03	13/03/03
pH do meio	7,05	5,68	5,66	4,97	5,68	5,94	5,92
Índice Pluviométrico	84,3	165,6	132,4	124,5	165,3	70,6	71,5
Temp.Média Mensal °C	19,3	18,7	23,4	24,4	25,8	26,8	28,8
mi 1(g)		1,1250	1,2403	1,1513	1,2156	1,2811	1,1446
mi 2(g)		1,1113	1,6220	1,2278	1,2157	1,1218	1,2556
mi 3(g)		1,4788	1,5978	1,4781	1,4286	1,5244	1,1103
mi 4(g)		1,3663	1,1427	1,4189	1,1588	1,1393	1,4784
mi 5(g)		1,2981	1,4731	1,2818	1,3509	1,6426	1,1825
mi. média		1,2759	1,4152	1,3116	1,2739	1,3418	1,2343
mi. máx		1,4788	1,6220	1,4781	1,4286	1,6426	1,4784
mi. mín.		1,1113	1,1427	1,1513	1,1588	1,1218	1,1103
Desvio Padrão		0,157874	0,214655	0,134946	0,111686	0,23287	0,146751
mf 1(g)		1,1202	1,0890		0,9761		0,969
mf 2(g)		1,1018	1,5038	1,1889	0,9172		0,9929
mf 3(g)		1,4751	1,5258	1,3543	1,1833	1,2655	0,9567
mf 4(g)		1,3568	1,0205	1,3043	0,9858	0,9896	1,2756
mf 5(g)		1,2907	1,3059	1,2009	1,156	1,5035	1,0292
mf. média		1,26892	1,2890	1,2621	1,0437	1,2529	1,0447
mf. máx		1,4751	1,5258	1,3543	1,1833	1,5035	1,2756
mf. mín.		1,1018	1,0205	1,1889	0,9172	0,9896	0,9567
Desvio Padrão		0,158709	0,23162	0,080385	0,118347	0,257183	0,132016
variação média. em (g)		0,0070	0,1262	0,0495	0,2302	0,0890	0,1896
Varição média em %		0,547065	8,91618	3,772549	18,07335	6,630696	15,36118

Nota: mi = massa inicial
mf = massa final

ANEXO X

Tabela G: Dados do teste de biodegração no Meio VI – Água do Rio

MEIO VI - Água do Rio							
Tempo	0	30	60	90	120	150	180
Início/data	24/09/02	09/10/02	07/11/02	05/12/02	14/01/03	13/02/03	13/03/03
pH do meio	7,27	7,21	6,74	6,84	6,93	7,85	6,77
Índice Pluviométrico mm	84,3	165,6	132,4	132,4	165,3	70,6	71,5
Temp. Mensal média°C	19,3	18,7	23,4	24,4	25,8	26,8	28,8
mi 1(g)		1,5723	1,3890	1,0962	1,1800	1,1520	1,2101
mi 2(g)		1,3090	1,1623	1,5221	1,2186	1,1199	1,7571
mi 3(g)		1,5882	1,2980	1,1209	1,5589	1,6138	1,4203
mi 4(g)		1,6950	1,1904	1,1848	1,1718	1,2286	1,4010
mi 5(g)		1,6947	1,3984	1,6376	1,5640	1,0600	1,3465
mi. média		1,5718	1,2876	1,3123	1,3387	1,2349	1,4270
mi. máx		1,6950	1,3984	1,6376	1,5640	1,6138	1,7571
mi. mín.		1,3090	1,1623	1,0962	1,1718	1,0600	1,2101
Desvio Padrão		0,15781	0,109333	0,249713	0,204153	0,220393	0,201998
mf 1(g)		0,15781	1,3271	0,998	1,0114	0,9915	0,8825
mf 2(g)		1,3049	1,0921	1,4262	0,9606	0,9524	1,3891
mf 3(g)		1,5851	1,2289	1,0284	1,3722	1,4641	1,1129
mf 4(g)		1,6928	1,1086	1,0564	1,0139	1,0165	1,0513
mf 5(g)		1,6674		1,4978	1,3826	0,893	1,0023
mf. média		1,2816	1,1892	1,2014	1,1481	1,0635	1,0876
mf. máx		1,6928	1,3271	1,4978	1,3826	1,4641	1,3891
mf. mín.		0,15781	1,0921	0,998	0,9606	0,893	0,8825
Desvio Padrão		0,646817	0,110329	0,240163	0,210395	0,228739	0,188548
Varição média. em (g)		0,2902	0,0984	0,1110	0,1905	0,1714	0,3394
Varição média em %acumulado		18,46	7,65	8,46	14,23	13,88	23,78

Nota: mi = massa inicial
mf = massa final

ANEXO X

Tabela H: Dados do teste de biodegração no Meio VII – Caixa de Gordura

MEIO VII - Caixa de Gordura							
Tempo	0	30	60	90	120	150	180
Início/data	18/09/02	09/10/02	07/11/02	05/12/02	14/01/03	13/02/03	13/03/03
pH do meio	4,5	3,71	3,67	4,66	4,26	2,77	2,77
Índice Pluviométrico mm	84,3	165,6	132,4	124,5	165,3	70,6	71,5
Temp.Média Mensal °C	19,3	18,7	23,4	24,4	25,8	26,8	28,8
mi 1(g)		1,1428	1,3597	1,0774	1,3237	1,4737	1,1230
mi 2(g)		1,1706	1,4391	1,0569	1,0870	1,1844	1,2819
mi 3(g)		1,3097	1,3150	1,0730	1,2846	1,1432	1,1230
mi 4(g)		1,1927	1,5637	1,2304	1,5594	1,4053	1,2563
mi 5(g)		1,1623	1,1211	1,1691	1,5304	1,4829	1,1678
mi. média		1,1956	1,3597	1,1214	1,3570	1,3379	1,1904
mi. máx		1,3097	1,5637	1,2304	1,5594	1,4829	1,2819
mi. mín.		1,1428	1,1211	1,0569	1,0870	1,1432	1,1230
Desvio Padrão		0,066236	0,163438	0,075163	0,193832	0,162388	0,074685
mf 1(g)		1,1467	1,3633	1,0792	1,3327	1,4776	1,1253
mf 2(g)		1,1733	1,4422	1,5591	1,0914	1,1871	1,2855
mf 3(g)		1,3125	1,3148	1,0738	1,2888	1,1492	1,125
mf 4(g)		1,1959	1,5689	1,2331	1,5655	1,406	1,2602
mf 5(g)		1,1654	1,1218	1,163	1,5356	1,4871	1,1706
mf. média		1,19876	1,3622	1,22164	1,3628	1,3414	1,19332
mf. máx		1,3125	1,5689	1,5591	1,5655	1,4871	1,2855
mf. mín.		1,1467	1,1218	1,0738	1,0914	1,1492	1,125
Desvio Padrão		0,065985	0,165201	0,199747	0,194285	0,161788	0,075466
variação média. em (g)		-0,0031	-0,0025	-0,1003	-0,0058	-0,0035	-0,0029
Varição média em %		-0,262625	-0,18239	-8,943101	-0,425933	-0,261604	-0,245296

Nota: mi = massa inicial
mf = massa final

ANEXO X

Tabela I: Dados do teste de biodegração no Meio VIII – Fossa

MEIO VIII - Fossa				
Tempo dias	0	30	60	90
Início/data	18/09/02	09/10/02	07/11/02	05/12/02
pH do meio	8,95	8,66	8,87	8,55
Índice Pluviométrico	84,3	165,6	132,4	124,5
Temp.Média Mensal °C	19,3	18,7	23,4	24,4
mi 1(g)		1,5218	1,1589	1,1000
mi 2(g)		1,3338	1,5561	1,2646
mi 3(g)		1,3853	1,2094	1,2013
mi 4(g)		1,5250	1,1032	1,2662
mi 5(g)		1,5909	1,6256	1,2325
mi. média		1,4714	1,3306	1,2129
mi. máx		1,5909	1,6256	1,2662
mi. mín.		1,3338	1,1032	1,1000
Desvio Padrão		0,107285	0,241742	0,068518
mf 1(g)		1,2599	0,1858	0
mf 2(g)		1,0932	0,5142	0
mf 3(g)		1,2254	0,2595	0
mf 4(g)		1,3411		0
mf 5(g)		1,312		0
mf. média		1,24632	0,319833	0
mf. máx		1,3411	0,5142	0
mf. mín.		1,0932	0,1858	0
Desvio Padrão		0,09665	0,172313	0
Variação média. em (g)		0,2250	1,0108	1,2129
Variação média em %		15,29469	75,96395	100

Nota: mi = massa inicial
mf = massa final