

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS BIODEGRADÁVEIS
A PARTIR DO BAGAÇO DE MANDIOCA

Dissertação submetida ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Alimentos.
Área de concentração: Desenvolvimento de Processos da Indústria de Alimentos

Orientador: Prof. Dr. João Borges Laurindo

Co-orientador: Prof. Dr. Alfredo Tibúrcio Nunes Pires

KÁTIA NICOLAU MATSUI
Eng.º de Alimentos

Florianópolis, 18 de dezembro de 2002.

Agradecimentos

Muitas foram as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, em especial gostaria de agradecer:

Ao meu orientador, João Borges Laurindo, por acreditar na minha capacidade, pelo apoio dispensado no decorrer desses anos, pela paciência e amizade, permitindo que eu crescesse tanto profissionalmente quanto pessoalmente.

Ao Prof. Alfredo por sempre estar valorizando o meu trabalho e pelas discussões que proporcionaram uma melhor compreensão sobre assuntos relacionados ao mesmo.

Aos demais professores do Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos e do Departamento de Química, em especial aos professores Gláucia, Sandra, Adelamar, Marina Uieara e Valdir Soldi, por toda a disposição e amizade.

Ao pessoal do laboratório de polímeros, em especial a Dani Becker, Marli e Ricardo que sempre estiveram dispostos a me ajudar.

Aos meus queridos amigos do laboratório PROFI, Fabinho, Sabrina, Dani, Léo, Bruno e Eduardo que foram muito mais que amigos, estiveram sempre presentes me incentivando, me ajudando em qualquer dúvida, vibrando com as minhas conquistas e me apoiando nas horas mais difíceis. Fabinho, obrigada pela amizade, generosidade e paciência. Sá, muito obrigada por todo o apoio e carinho. Dani, obrigada pelo companheirismo e dedicação.

Aos meus amigos Christian, Tati, João, Dá, Lia, Márcia e Paty por todo o carinho e torcida.

Aos meus amigos da pós-graduação, Jô, Tati, Pati, Carol e Gustavo que também me apoiaram e incentivaram.

Aos meus pais, Regina e Avelino, e ao meu irmão, Rodrigo, pelo amor e por estarem ao meu lado em todos os momentos da minha vida apoiando tudo aquilo que faço.

Ao Nando, pela maneira singular de me apoiar, pela paciência e amor me proporcionando a vontade de prosseguir sempre.

*“É graça divina começar bem.
Graça maior persistir na caminhada certa.
Mas graça das graças é não desistir nunca.”*
(D. Hélder Câmara)

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABELAS	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos do trabalho	2
1.2. Estrutura do trabalho	3
CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Mandioca	4
2.1.1. Composição das raízes de mandioca	5
2.1.2. Industrialização da mandioca	6
2.2. Fécula de mandioca	7
2.2.1. Obtenção da Fécula de Mandioca	9
2.2.2. Modificações do amido	10
2.2.2.1. Gelatinização do amido	11
2.2.2.2. Acetilação do amido	12
2.3. Resíduos da Industrialização da mandioca para a obtenção da fécula	14
2.3.1. Bagaço de mandioca	15
2.3.2. Aplicações do Bagaço de mandioca	16
2.4. Materiais Biodegradáveis	18
CAPÍTULO III – MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1. Ensaio Preliminares	20
3.1.1. Preparação do compósito de bagaço com adição de 10% de papel Kraft, cola e resina comerciais	20
3.1.1.1. Materiais	20
3.1.1.2. Método de preparação da polpa	22
3.1.1.3. Método de obtenção dos compósitos	23
3.1.2. Preparação do compósito de bagaço com adição de 10% e 30% de fibras de mandioca	24
3.1.2.1. Materiais	24
3.1.2.2. Método de preparação das polpas	24

3.1.2.3. Método de obtenção dos compósitos	25
3.2. Preparação do compósito de bagaço com 10% de papel Kraft	26
3.2.1. Materiais	26
3.2.2. Método de preparação da polpa	26
3.2.3. Método de obtenção do compósito	26
3.3. Preparação dos corpos de prova	27
3.4. Modificação química do amido	27
3.4.1. Materiais	27
3.4.2. Acetilação do Amido	27
3.5. Impregnação com acetato de amido	30
3.5.1. Materiais	30
3.5.2. Método	30
3.6. Isotermas de sorção	31
3.7. Análise de resistência à tração	32
3.8. Ensaio de absorção de água	32
3.9. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	32
3.10. Análise quantitativa da impregnação de acetato de amido nas amostras do compósito bagaço-papel Kraft	33
3.11. Porosimetria de mercúrio	34
3.12. Técnica empregada para a obtenção das bandejas de bagaço - papel Kraft	34
CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1. Ensaio Preliminares	36
4.1.1. Compósitos de bagaço de mandioca com adição de 10% de papel Kraft, cola e resina comerciais	37
4.1.2. Compósitos de bagaço de mandioca com adição de 10% e 30% de fibras de mandioca	40
4.2. Acetilação do Amido	44
4.3. Compósito de bagaço-papel Kraft impregnado com acetato de amido	45
4.3.1. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	45
4.3.2. Espessura, massa específica das amostras e do filme de acetato de amido	49
4.3.3. Porosimetria de mercúrio	51
4.3.4. Ensaio de resistência à tração	53
4.3.5. Ensaio de absorção de água	56

4.3.6. Isotermas de sorção	57
4.4. Aplicações das bandejas de bagaço-papel Kraft	59
CAPÍTULO V – CONCLUSÕES E SUGESTÕES	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
APÊNDICE	72
Apêndice A. Estimativa de custo para a produção das bandejas de bagaço-papel Kraft	72
Apêndice B. Fluxograma mostrando as etapas para a obtenção das bandejas de bagaço-papel Kraft	74

Listas de Figuras

Figura 2.1 - AMILOPECTINA, unidades de glicose ligadas pelas posições α 1- 4 e α 1-6	8
Figura 2.2 - AMILOSE, unidades de glicose ligadas pela posição α 1- 4	8
Figura 2.3 - Fluxograma do processo de obtenção da fécula, destacando a geração do bagaço	10
Figura 3.1 - Fotografia do bagaço de mandioca seco, aumento de 34X	21
Figura 3.2 - Fotografia do papel Kraft comercial, aumento de 45X	21
Figura 3.3 - Metodologia de obtenção dos compósitos de bagaço-papel Kraft com cola e resina	23
Figura 3.4 - Fotografia das fibras de mandioca, aumento de 25X	24
Figura 3.5 - Metodologia utilizada para a preparação dos compósitos de bagaço-fibras de mandioca	25
Figura 3.6 - Metodologia utilizada para a fabricação do compósito de bagaço-papel Kraft	26
Figura 3.7- Esquema para a obtenção do acetato de amido	28
Figura 3.8 - Fluxograma para a determinação do grau de substituição (GS)	29
Figura 3.9 - Nomenclatura utilizada para a determinação das dimensões dos corpos de prova	33
Figura 3.10 - (a) Molde conectado à bomba de vácuo; (b) Imersão do molde no recipiente contendo a suspensão bagaço-papel Kraft; (c) polpa aderida ao molde; (d) Bandejas	35
Figura 4.1 - Umidade de equilíbrio em função da atividade de água (a_w), a 30°C, para os materiais preparados	37
Figura 4.2 - Alongamento dos materiais analisados, na ruptura	38
Figura 4.3 - Efeito da variação da concentração dos aditivos na tensão de ruptura dos materiais	39
Figura 4.4 - Umidade de equilíbrio em função atividade de água (a_w), a 35°C, para os materiais preparados	41
Figura 4.5 - Valores médios de tensão e alongamento para os diferentes materiais analisados	42

- Figura 4.6 - Fotografia do compósito de bagaço com adição de 30% de fibras de mandioca
- Figura 4.7 - Valor médio das tensões de ruptura, para os diferentes materiais analisados 43
- Figura 4.8 - Micrografias da superfície e da superfície crio-fraturada do ensaio de tração 46 das amostras sem impregnação: (a) e (b) superfície da amostra com aumento de 100X e de 40X, respectivamente, (c) e (d) superfícies crio-fraturadas da mesma região da amostra com aumento de 25X e de 100X, respectivamente
- Figura 4.9- Micrografias da superfície e da superfície crio-fraturada do ensaio de tração 47 das amostras impregnadas por 10min, na concentração 1:5 e a pressão atmosférica: (a) e (b) regiões diferentes da mesma superfície com aumento de 20X e de 100X, (c) e (d) superfícies crio-fraturadas da mesma região da amostra com aumento de 25X e 101X, respectivamente
- Figura 4.10- Micrografias da superfície e da superfície crio-fraturada do ensaio de 48 tração das amostras impregnadas a vácuo, por 10min e na concentração 1:5: (a) e (b) regiões diferentes da mesma superfície com aumento de 20X e 100X, respectivamente, (c) e (d) superfícies crio-fraturadas da mesma região da amostra com aumento de 25X e 100X, respectivamente
- Figura 4.11- Influência da impregnação com acetato de amido na massa específica dos 50 materiais preparados (A= Não impregnado; B= 5min 1:10; C= vácuo, 5min 1:10; D= 10min 1:10; E= 5min 1:5; F= 10min, 1:5; G= vácuo 10min, 1:5)
- Figura 4.12- Volume de mercúrio acumulado por grama de material não impregnado × 52 diâmetro dos poros, das amostras impregnada e não impregnada
- Figura 4.13- Gráfico da área × diâmetro dos poros, das amostras impregnada e não 53 impregnada
- Figura 4.14- Influência da impregnação com acetato de amido nos ensaios de tensão e 55 alongamento máximo, na ruptura (A= Não impregnado; B= 5min 1:10; C= vácuo, 5min 1:10; D= 10min 1:10; E= 5min 1:5; F= 10min, 1:5; G= vácuo 10min, 1:5)
- Figura 4.15- Absorção de água dos diferentes materiais preparados (A= Não 56 impregnado; B= 5min 1:10; C= vácuo, 5min 1:10; D= 10min 1:10; E= 5min 1:5; F= 10min, 1:5; G= vácuo 10min, 1:5)
- Figura 4.16- Umidade de equilíbrio em função da atividade de água (a_w), a 35°C, para 57 os materiais analisados

Figura 4.17- Umidade de equilíbrio em função da atividade de água (a_w), a 35°C, para o amido, acetato de amido e bagaço de mandioca	58
Figura 4.18- Acondicionamento de goiabas e pepinos em bandejas de bagaço-papel Kraft	60
Figura 4.19- Empilhamento de bandejas acondicionando legumes	60
Figura Apêndice -B- Fluxograma mostrando as etapas para a obtenção das bandejas de bagaço-papel Kraft	74

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Composição média das raízes de mandioca (100 g)	5
Tabela 2.2- Teor de umidade e temperatura máxima, $T_{máx.}$, das endotermas obtidas por DSC (Calorimetria diferencial de varredura), para amostras de amido de milho	12
Tabela 2.3- Intervalo de temperatura de gelatinização de alguns amidos	12
Tabela 2.4- Composição físico – química do bagaço de mandioca (g / 100g peso seco)	15
Tabela 3.1 – Concentrações de cola e de resina para 30g de material seco (MS)	22
Tabela 3.2 - Diferentes condições de impregnação com acetato de amido	30
Tabela 3.3 - Umidades Relativas proporcionadas por soluções salinas saturadas a 30° e 35°C	31
Tabela 4.1- Grau de substituição do acetato de amido por Larotonda (2002)	45
Tabela 4.2- Aumento da espessura dos materiais após a impregnação com acetato de amido em diferentes condições	49
Tabela 4.3- Comparação dos valores médios da m_{filme} , calculada pela equação (4) e a variação de massa, Δm , promovida pela impregnação	51
Tabela 4.4- Valores de tensão máxima, alongamento máximo na ruptura e coeficientes de variação para as amostras do compósito bagaço-papel Kraft	54
Tabela A.1 (Apêndice A)- Matérias-primas, quantidade e custo	72
Tabela A.2 (Apêndice A)- Equipamentos convencionais, adaptados e custo dos equipamentos adaptados	73

Resumo

O processamento das raízes de mandioca para a obtenção de fécula produz grandes quantidades de resíduos considerados agressivos ao ambiente. O bagaço de mandioca, resíduo fibroso rico em amido não extraído, é um grande problema para as fecularias, devido a sua elevada percentagem de água, cujo processo de secagem ou o transporte são caros. Com frequência, uma solução imediata é o depósito deste resíduo em terrenos próximos à indústria ou sua utilização para a alimentação animal. O descarte indevido desse material representa um problema ambiental, além de um desperdício de uma matéria-prima que poderia ser melhor aproveitada.

Neste trabalho, o bagaço de mandioca foi utilizado para a obtenção de materiais semelhantes à polpa moldada, através da técnica utilizada na produção artesanal de papel reciclado. O bagaço, além de não ter custo para as indústrias processadoras de mandioca, é de origem conhecida e por isso possui vantagens sanitárias sobre a polpa moldada produzida com papel reciclado.

Fibras vegetais foram incorporadas ao bagaço, buscando-se obter compósitos com boas propriedades mecânicas. Os melhores resultados foram obtidos com a adição de 10% em massa de papel Kraft ao bagaço de mandioca. Esses compósitos apresentaram pouca resistência ao contato direto com a água. Para contornar esse problema, realizou-se a impregnação dos materiais com soluções de acetato de amido dissolvido em clorofórmio, tendo as impregnações sido realizadas a pressão atmosférica e sob vácuo de 600 mmHg. Os materiais impregnados foram submetidos a testes de resistência à tração e ao contato direto com água. A impregnação com acetato de amido não modificou significativamente a resistência a tração dos materiais preparados. Por outro lado, a aplicação do teste de Cobb às amostras mostrou que a massa de água absorvida pelos materiais impregnados com acetato de amido foi aproximadamente a metade daquela absorvida pelos materiais sem impregnação.

Paralelamente à caracterização dos compósitos, foi construído um sistema que permitiu a produção de bandejas de bagaço de mandioca adicionado de 10 % de papel Kraft. A utilização do bagaço na produção dessas bandejas descartáveis pode ser uma boa alternativa para a transformação desse resíduo em um subproduto. As bandejas obtidas em laboratório foram resistentes o suficiente para permitir a utilização das mesmas para o acondicionamento de frutas e legumes.

Palavras-chave: mandioca, bagaço de mandioca, bandejas descartáveis, propriedades mecânicas.

Abstract

The processing of cassava for the starch attainment produces great amounts of residues considered aggressive to the environment. The cassava bagasse, rich fibrous residue in non-extracted starch, is a great problem for the cassava companies, due to its raised water percentage, whose process of drying or whose transport is expensive. Frequently, an immediate solution is the deposit of this residue in lands close to the companies or its use for the animal feeding. The improper disposal of this material represents an environmental problem and a waste of a raw material which could be used for other purposes.

In this work, the cassava bagasse was used for the attainment of similar materials to the molded pulp, through the technique used in artisan production of recycled paper. The bagasse is of known origin and therefore it possess sanitary advantages on the pulp molded produced with recycled paper, moreover it has not cost for the cassava companies.

Vegetal fibers were incorporated in the bagasse, searching to produce composites with good mechanical properties. The best results were obtained with the addition of 10% in weight of Kraft paper in the cassava bagasse. These composites had a slight resistance to direct contact with water. To solve this problem, it was carried out the impregnation of these materials with starch acetate dissolved in chloroform. Impregnations were carried through at atmospheric pressure and under a vacuum of 600 mmHg. The impregnated materials were submitted to tests of tensile strenght and to direct contact with water. The impregnation with starch acetate did not modify significantly the resistance to the traction of the prepared materials. However, the application of the Cobb test to the samples showed that the water mass absorbed by the materials impregnated with starch acetate was approximately half of that one absorbed by the materials without impregnation.

Parallel to the characterization of the composites, a system was constructed to produce trays of cassava bagasse added of 10 % of Kraft paper. The use of the bagasse in the production of these disposable trays can be a good alternative for use of this residue in a by-product. The trays obtained in laboratory were mechanically resistant, that allow its use for the fruits and vegetables packing.

Key-words: cassava, cassava bagasse, disposable trays, mechanical properties.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

“Mandioca boa dá nos meses que não tem erre”, dizem os caboclos brasileiros, referindo-se aos meses de seca. No resto do ano, a raiz é mais dura e resistente ao cozimento. A produtividade, no entanto, é farta o ano inteiro (GOYANO, 2002).

A denominação científica, *Manihot esculenta crantz*, da família *euphorbiaceae*, apenas remotamente lembra o nome comum, que se mistura a apelidos como aipim e macaxeira. Estas sim, as formas mais populares para designar um alimento com fortes laços econômicos e regionais entre populações pobres do Brasil, vizinhos da América do Sul e África (GOYANO, 2002).

A mandioca já alimentava os índios antes da chegada dos portugueses e era tão importante que muitas lendas foram criadas em torno de sua origem. Não por coincidência, na Amazônia e Nordeste, nas mesmas regiões onde brotaram as lendas, desenvolveram-se numerosas comunidades mandioqueiras, baseadas em pequenos grupos familiares de lavradores. Cultivada principalmente como agricultura de subsistência, a mandioca cada vez mais vem atraindo o interesse da agroindústria e dos pesquisadores científicos (GOYANO, 2002).

Nos estados do Mato Grosso do Sul, São Paulo e Paraná estão concentradas as empresas especializadas no processamento da mandioca para a obtenção do amido (fécula). O amido acumula-se nas raízes e funciona como um depósito de energia para os períodos de crescimento e dormência das plantas. O amido de mandioca possui sabor suave e pasta clara. Nativo ou modificado, pode ser usado para diversos fins na indústria de alimentos, têxtil, de papel, entre outros (VILELA e FERREIRA, 1987).

A farinha e o amido são os principais produtos obtidos da mandioca e por serem de fácil extração, desenvolveram-se indústrias dos mais variados níveis técnicos, desde o processo manual até os sistemas totalmente automatizados (LEONEL, JACKY e CEREDA, 1998).

A utilização culinária da mandioca não gera resíduos significativos, devido à pequena quantidade processada, contrariamente à produção industrial, que pode causar sérios

problemas ambientais. Mesmo as pequenas unidades fabris, como as casas de farinha, podem gerar quantidades significativas de resíduos, pelo costume de se reunirem em um dado local ou município (CEREDA, 1994).

Durante o processamento para a obtenção da fécula, muitos resíduos são gerados, sendo o bagaço o principal resíduo sólido. O bagaço, também conhecido como massa ou farelo, é o material fibroso que contém parte da fécula que não foi extraída no processamento (LEONEL, CEREDA e ROAU, 1999).

Além do aspecto de agressão ao meio ambiente, o descarte indevido do bagaço constitui desperdício de uma matéria-prima que poderia ser melhor aproveitada em função das quantidades geradas e de sua composição (CEREDA, 1994).

Nos últimos anos, pesquisadores vêm apresentando alternativas interessantes para a utilização do bagaço, seja como substrato para crescimento de microrganismos, como fonte adicional de fibras em farinhas e biscoitos, ou mesmo como embalagens descartáveis, visando nesta última aplicação, além de sua utilização, a diminuição do impacto ambiental causado pelo acúmulo de plásticos de origem petroquímica.

1.1- Objetivos do Trabalho

Este trabalho tem como objetivo principal, o estudo da utilização do bagaço de mandioca como matéria-prima para o desenvolvimento de materiais biodegradáveis. Os objetivos específicos são:

- testar a incorporação de fibras ao bagaço para a preparação dos compósitos;
- determinar as propriedades mecânicas e de resistência à umidade dos compósitos obtidos;
- avaliar o efeito da impregnação com acetato de amido na resistência a tração, na absorção de água e na higroscopicidade (isotermas de sorção de umidade) dos compósitos preparados;
- desenvolver um sistema que permita a produção de bandejas em pequena escala e com baixo custo.

1.2- Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado em capítulos. No segundo capítulo apresenta-se uma revisão bibliográfica, abordando os assuntos referentes à cultura da mandioca, a obtenção da fécula, a origem do bagaço e suas aplicações, assim como a utilização de materiais provenientes de fontes renováveis. O terceiro capítulo, referente a material e métodos, descreve com detalhes os procedimentos realizados para a obtenção e caracterização dos compósitos, a síntese do acetato de amido e a produção das bandejas descartáveis a partir do bagaço. Os resultados experimentais são apresentados e discutidos no quarto capítulo. O quinto capítulo apresenta as conclusões e as referências bibliográficas finalizam o trabalho.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo foi dividido em tópicos. No primeiro, apresenta-se uma revisão sobre a cultura da mandioca e os produtos obtidos a partir de sua industrialização. A fécula é um desses produtos, merecendo especial atenção por gerar o bagaço de mandioca como resíduo na etapa de sua extração e por ser um material com aplicações em diferentes setores, como poderá ser visto no segundo tópico.

No terceiro tópico, serão apresentados os principais resíduos da industrialização da mandioca e suas aplicações, destacando-se o bagaço por ser o material que motivou a realização deste trabalho. O quarto tópico finaliza este capítulo, apresentando alternativas para a redução do impacto ambiental utilizando materiais de fontes renováveis em substituição àqueles de origem petroquímica.

2.1– Mandioca

Da família da *euphorbiaceae*, denominada botanicamente de *Manihot esculenta Crantz*, a mandioca é uma cultura amplamente difundida por todo o território nacional.

Originária da América do Sul é um dos principais alimentos energéticos para cerca de 500 milhões de pessoas, sobretudo nos países em desenvolvimento, onde é cultivada em pequenas áreas com baixo nível tecnológico. Mais de 80 países produzem mandioca, sendo o Brasil um dos maiores produtores do mundo (AMANTE, 1986; CEREDA, 1994; EMBRAPA, 2000 e 2002).

Sendo de origem tropical, a mandioca se adapta melhor em climas quentes e úmidos, sendo por essa razão, cultivada em todos os estados brasileiros, situando-se entre os nove primeiros produtos agrícolas do país em termos de área cultivada, e o sexto em valor de produção (EMBRAPA, 2000 e 2002).

A mandioca é uma planta arbustiva com muitos galhos, chegando a atingir 3 m de altura. Possui raízes feculentas com cerca de 30 cm de comprimento por 7 cm de diâmetro. A

planta de mandioca pode produzir de 6 a 8 raízes com peso médio de 600 g por raiz (EMBRAPA 2000; LIMA, 2001).

São conhecidas mais de mil variedades de mandioca, sendo que estas podem ser divididas em duas categorias: “bravas” ou “mansas”. As chamadas mandiocas "bravas" servem para a industrialização e não podem ser consumidas cozidas ou fritas, em razão de possuírem dois glicosídeos cianogênicos, a linamarina e a lotaustralina, ambos capazes de produzir ácido cianídrico quando em presença dos ácidos e enzimas do estômago. As variedades "mansas", conhecidas também como aipim ou macaxeira, possuem os glicosídeos cianogênicos, mas em quantidades inócuas e, por isso, podem ser consumidas *in natura* (CEREDA 1994, EMBRAPA 2000; TELES, 1987; WHISTLER, BEMILLER e PASCHALL, 1984).

2.1.1- Composição das raízes de mandioca

As raízes de mandioca são compostas basicamente de uma película parda, entrecasca e polpa. Cada variedade possui sua peculiaridade, diferenciando-se apenas na quantidade de determinados componentes, sendo o teor de amido aquele que mais oscila de uma variedade para outra. Esta diferença também pode ser atribuída a diversidade de clima, época de plantio, sistema de cultivo e momento da colheita (AMANTE, 1986; LIMA, 2001). Na tabela 2.1 apresenta-se a composição média das raízes de mandioca determinada por vários autores.

Tabela 2.1 – Composição média das raízes de mandioca (100 g)

Composição (%)	Cereda (1994)	Conceição (1983)	Whistler <i>et al.</i> (1984)
Umidade	62,5	69,0	70,0
Proteínas	0,6	1,5	1,0
Lipídeos	0,9	0,2	1,0
Amido	33,0	28,0	24,0
Fibras	1,7	0,7	2,0
Cinzas	1,3	0,6	2,0

Fonte: CEREDA, (1994); CONCEIÇÃO, (1983); WHISTLER, BEMILLER e PASCHALL, (1984).

As raízes de mandioca apresentam uma umidade próxima a 70%, o que implica que o amido na matéria seca pode se concentrar a teores em torno de 90%, devido às pequenas percentagens dos outros componentes.

Aproximadamente 60% das raízes de mandioca produzidas no mundo inteiro destinam-se ao consumo humano, seja *in natura* ou na forma industrializada. A utilização para a alimentação animal vem em segundo lugar, com aproximadamente 33%, seguida das aplicações em indústrias têxteis, de papel e química, entre outras que consomem cerca de 7% do total de mandioca produzida (PANDEY *et al.*, 2000).

2.1.2- Industrialização da Mandioca

A industrialização da mandioca se apresenta como uma boa alternativa para adicionar valor a esta matéria-prima, proporcionando a geração de empregos e um maior retorno financeiro para a atividade agroindustrial (MOORE, 2001).

Dados do SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DE MANDIOCA DO PARANÁ (2001) estimam em mais de cento e cinquenta o número de subprodutos provenientes das raízes de mandioca, sendo o polvilho azedo, a farinha e o amido (fécula ou polvilho doce) os mais conhecidos. As indústrias de alimentos representam o maior mercado, com 69% do consumo total de amido, sendo o restante aplicado nas indústrias de papel e celulose, têxtil, farmacêutica, de cosméticos e em lamas para perfuração de poços de petróleo, entre outros (LEONEL, JACKEY e CEREDA, 1998; MOORE, 2001; VILELA e FERREIRA, 1987).

As empresas especializadas na produção de amido de mandioca (fécula) estão distribuídas principalmente nos estados do Mato Grosso do Sul, Santa Catarina, Paraná e São Paulo (RAUPP *et al.*, 1999). Devido à facilidade de extração da fécula, desenvolveram-se indústrias dos mais variados níveis técnicos, desde o processo totalmente manual até os sistemas automatizados com centrífugas e hidrociclones (VILELA e FERREIRA, 1987).

Para que a fécula obtida possa ser classificada como de alto padrão, o processamento da mandioca deve ser o mais rápido possível, evitando assim as ações enzimáticas de deterioração que podem prejudicar diretamente a qualidade do produto final (VILELA e FERREIRA, 1987).

2.2– Fécula de Mandioca

Dentre os componentes mais importantes da mandioca para fins industriais, podem ser citados os carboidratos, sendo que o amido constitui a quase totalidade dos hidratos de carbono na matéria seca. Os outros componentes que representam a fração não amilácea correspondem a 3,1%, dos quais 0,93% é glicose, 0,46% frutose e maltose, 1,7% de sacarose e 0,01% de rafinose (CEREDA, 1994).

Fécula e amido são sinônimos, entretanto no Brasil costuma-se chamar de amido a substância amilácea encontrada nos órgãos aéreos, tais como grãos e frutos e de fécula à encontrada nas raízes e tubérculos. A diferença de denominação indica a origem do produto amiláceo (VILELA e FERREIRA, 1987).

O amido constitui a mais importante reserva alimentar de todas as plantas superiores. Por ser facilmente hidrolisado e digerido, é um dos elementos mais importantes na alimentação humana. Normalmente apresenta-se na forma de grânulos, com tamanho e forma próprios de cada espécie vegetal. Tem coloração branca, é insípido, inodoro e forma uma suspensão leitosa quando em contato com água fria (BOBBIO e BOBBIO, 1995; CHANDRA e RUSTGI, 1998; VILELA e FERREIRA, 1987).

O amido é um polímero natural constituído por dois polissacarídeos, a amilose e a amilopectina, ambos contendo somente unidades de anidroglicose ($C_6H_{10}O_5$). A amilose é um polissacarídeo linear formado por unidades de anidroglicose unidas entre si por ligações α (1 – 4) em número que varia de 200 a 10000 unidades. A amilopectina constitui a fração altamente ramificada do amido, é formada por aproximadamente 20 ou 25 unidades de anidroglicose também unidas entre si pelas ligações α (1 – 4), mas se distingue da amilose por apresentar cerca de 4 – 5% das unidades de anidroglicose unidas entre si por ligações α (1 – 6), resultando em um polímero ramificado (BOBBIO e BOBBIO, 1995; BULÉON *et al.*, 1998; LEPENIOTIS e FEUER, 1997; NAYAK, 1999; PARKER e RING, 2001).

Amidos obtidos de diferentes fontes diferem em suas propriedades estruturais e químicas, no conteúdo de água e na razão amilose / amilopectina. A maioria dos amidos contém cerca de 20 a 30% de amilose e o restante de amilopectina (WHISTLER, BEMILLER e PASCHALL, 1984). Nas figuras 2.1 e 2.2 são apresentadas as estruturas da amilopectina e da amilose, respectivamente.

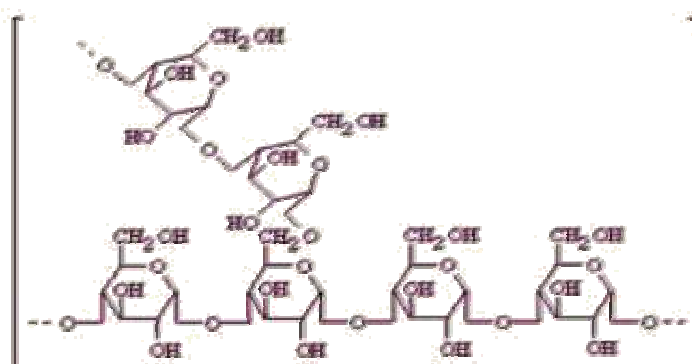


Figura 2.1 – AMILOPECTINA, unidades de glicose ligadas pelas posições α 1- 4 e α 1-6.

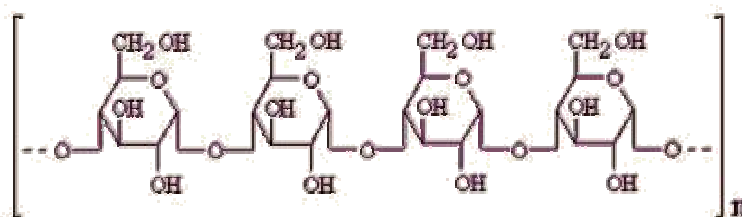


Figura 2.2 – AMILOSE, unidades de glicose ligadas pela posição α 1- 4.

2.2.1- Obtenção da Fécula de Mandioca

No processo para isolar a fécula, qualquer que seja a técnica utilizada, inicialmente as raízes de mandioca devem ser lavadas, descascadas e raladas, de maneira que os grânulos sejam liberados e separados das fibras e dos componentes solúveis (VILELA e FERREIRA, 1987).

As raízes, depois de lavadas e desintegradas, seguem para a etapa de extração, realizada no interior de peneiras cônicas rotativas, denominadas de GLs, providas de telas de aço, com crivos alongados de 125 – 250 µm de abertura. A água é inserida nessas GLs em contracorrente, para melhor separar a fécula do material fibroso. A fécula carregada pela água segue para a purificação. O resíduo sólido, conhecido também como bagaço, resultante nesta etapa, é composto pelo material fibroso que contém parte da fécula que não foi extraída no processamento. Na etapa de purificação, a suspensão de fécula é purificada com água e centrifugada para a retirada dos componentes solúveis e partículas estranhas. A fécula purificada é concentrada em até 20 – 22 °Be (Baumé) e segue para um filtro rotativo a vácuo, onde ocorre a remoção parcial da umidade. Após esta etapa, a fécula é conduzida a um secador pneumático onde, em tempo bastante curto, é desidratada a teores de umidade entre 12 e 13%. Já na forma de pó, a fécula segue para um silo onde é resfriada, estocada temporariamente e ensacada (HELMUTH e SHOLZ, 1971; LEONEL e CEREDA, 2000; VILELA e FERREIRA, 1987).

Na Figura 2.3 apresenta-se o fluxograma genérico do processo de obtenção da fécula e a etapa do processamento, onde é gerado o bagaço de mandioca (VILELA e FERREIRA, 1987).

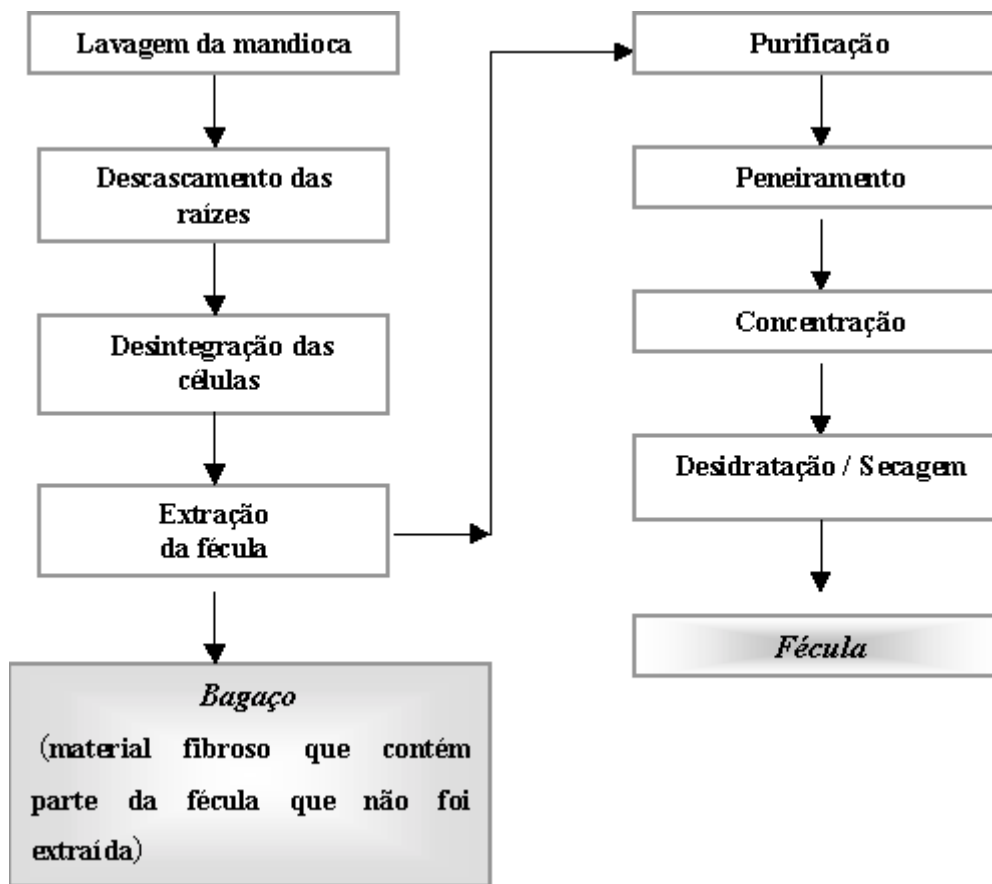


Figura 2.3 – Fluxograma do processo de obtenção da fécula, destacando a geração do bagaço.

2.2.2- Modificações do amido

Os conhecimentos da estrutura molecular e das propriedades físico-químicas do amido permitiram a realização de modificações físicas, químicas ou enzimáticas dessa estrutura, dando-lhe características próprias para atender as exigências dos diferentes setores industriais que o utilizam (BOBBIO e BOBBIO, 1995).

Nas indústrias de alimentos, o amido natural e/ou modificado é usado como espessante em cremes, sopas, alimentos infantis, molhos e pudins. Como polpa, aumenta o teor de sólidos em sopas enlatadas, sorvetes e conservas de frutas e como ligante impede a perda de água durante o cozimento de salsichas, carne enlatada e outros embutidos. O amido pré-gelatinizado é extremamente útil nos setores de mineração, perfuração de petróleo e fundição. Na indústria têxtil, participa da engomagem, para reduzir ruptura e desfibramento nos teares; da estamparia, para espessar os corantes e agir como suporte das cores; e do acabamento, para aumentar a firmeza e o peso do tecido (GOYANO, 2002; VILELA e

FERREIRA, 1987). Na indústria de papel, utiliza-se o amido modificado em vários estágios da preparação dos produtos, devido principalmente às suas habilidades de formar filmes, na capacidade de retenção de água e aderência. Por ser um material capaz de formar filmes, o amido vem sendo utilizado na fabricação de embalagens biodegradáveis (FEIL, 1995; HULLEMAN *et al.*, 1999; NAYAK, 1999). Pode-se citar alguns exemplos de amidos modificados: dextrina, maltodextrina, amidos oxidados, esterificados, amidos com ligações cruzadas, amido gelatinizado e amido acetilado (BOBBIO e BOBBIO, 1995; El - DASH, 1987; MOORE, 2001; MORIKAWA e NISHINARI, 2000).

2.2.2.1- Gelatinização do amido

O amido é um polímero formado por grânulos microscópios que possui regiões amorfas e cristalinas em sua composição. A parte linear das moléculas de amilopectina forma estruturas helicoidais duplas, estabilizadas por pontes de hidrogênio entre grupamentos hidroxila, dando origem às regiões cristalinas dos grânulos. A região amorfa é composta pelas cadeias de amilose e pelas ramificações da amilopectina. As áreas cristalinas mantêm a estrutura do grânulo e controlam o comportamento do amido (PARKER e RING, 2001; SOUZA e ANDRADE, 2000; VILELA e FERREIRA, 1987; WHISTLER, BEMILLER e PASCHALL, 1984).

Durante o aquecimento de dispersões de amido em presença de excesso de água, as ligações mais fracas de pontes de hidrogênio entre as cadeias de amilose e amilopectina são rompidas e os grânulos de amido começam a intumescer, permitindo a destruição da ordem molecular e mudanças irreversíveis nas suas propriedades. Esse fenômeno é conhecido como gelatinização. A temperatura na qual ocorre este tipo de transformação é conhecida como temperatura de gelatinização. Por outro lado, quando o amido é aquecido em presença de pequenas quantidades de água, o fenômeno que indica o rompimento de seus grânulos é conhecido como fusão (BOBBIO e BOBBIO, 1995; COOKE e GIDLEY, 1992; PARKER e RING, 2001; WHISTLER, BEMILLER e PASCHALL, 1984).

SOUZA e ANDRADE (2000), sabendo do efeito do teor de água no processo de rompimento dos grânulos de amido, determinaram a temperatura na qual essa transição ocorre, em função do grau de umidade. Na tabela 2.2 apresentam-se as temperaturas de transição observadas para as amostras de amido de milho com grau de umidade entre 0 e 60%. Para o amido de milho, a temperatura de gelatinização é 72°C.

Tabela 2.2- Teor de umidade e temperatura máxima, $T_{máx}$, das endotermas obtidas por DSC (Calorimetria diferencial de varredura), para as amostras de amido de milho.

Teor de água (%)	$T_{máx}$ (°C)
0	168
10	126
20	123
30	120
40	109
50	108
60	72

Fonte: SOUZA e ANDRADE, (2000).

A gelatinização transforma o amido em uma pasta viscoelástica, homogênea, com certa resistência à ruptura e ao alongamento. (ALONSO *et al.*, 1999, COOKE e GIDLEY, 1992; WHISTLER, BEMILLER e PASCHALL, 1984). Na tabela 2.3 apresenta-se o intervalo de temperatura de gelatinização para amidos obtidos de diferentes espécies vegetais.

Tabela 2.3- Intervalo de temperatura de gelatinização do amido.

Amido	Intervalo de Temperatura de gelatinização (° C)
Batata	56 – 66
Mandioca	58 – 70
Milho	62 – 72
Trigo	52 – 63
Arroz	61 – 77

Fonte: BOBBIO e BOBBIO, (1995).

2.2.2.2- Acetilação do amido

O amido puro ou misturado a outros compostos vem sendo utilizado como matéria prima para a obtenção de filmes poliméricos biodegradáveis, principalmente por ser um material de baixo custo, de grande disponibilidade e inofensivo ao ambiente, já que uma vez descartado é metabolizado por inúmeros organismos presentes no solo (CHANDRA e RUSTGI, 1998; FRINGRANT, DESBRIÈRES e RINAUDO, 1996; NAYAK, 1999; ROSA, FRANCO e CALIL, 2001).

Os filmes de amido natural são transparentes, bastante sensíveis a água e com baixa resistência mecânica à tração (CHANDRA e RUSTGI, 1998; DUFRESNE e VIGNON, 1998; LAROTONDA, 2002; LÖRCKS, 1998; ROESSER *et al.*, 2000; TOMKA, 2000).

A acetilação do amido é uma modificação química conhecida há mais de um século. Parte dos grupos hidroxila dos monômeros de glicose é convertida em grupos acetil ($\text{CH}_3\text{COO}-$), alterando a estrutura molecular do amido e permitindo a obtenção de um material termoplástico mais resistente à umidade e biodegradável (CHANDRA e RUSTGI, 1998; FEUER, 1998; FRINGANT, DESBRIÈRES e RINAUDO, 1996; GRAAF *et al.*, 1995; MILADINOV e HANNA, 1999; TREADWAY, 1946).

O acetato de amido tem aplicações que são reguladas por suas características, tais como o grau de acetilação ou grau de substituição (GS) e a massa molecular. Estas características determinam se o acetato de amido pode ser, por exemplo, usado em alimentos, aplicação para a qual o FDA (Food and Drug Administration – USA) recomenda um grau de substituição abaixo de 2,5% (FRINGANT *et al.*, 1998; LAROTONDA, 2002; NARAYAN, BLOEMBERGEN e LATHIA, 1999).

O grau de substituição indica o número médio de substituições por unidade de anidroglicose no amido. O maior GS possível é 3, porque existem três grupos hidroxila (OH) disponíveis por unidade de anidroglicose (MILADINOV e HANNA, 2001). Acetatos de amido com grau de substituição acima de 1,7, em condições anaeróbias, não são considerados biodegradáveis. Um melhor balanço das propriedades mecânicas, resistência à umidade, processabilidade e taxa de biodegradação do acetato de amido encontra-se preferencialmente na faixa de GS variando de 1,2 a 1,7 (LAROTONDA, 2002; NARAYAN, BLOEMBERGEN e LATHIA, 1999).

Na obtenção de materiais, o acetato de amido apresenta vantagens em relação ao amido natural por ser um material com melhores propriedades de resistência à umidade e ser solúvel em solventes mais simples, como a acetona e o clorofórmio (CHANDRA e RUSTGI, 1998; GRAAF *et al.*, 1995).

Existem patentes abordando a modificação química do amido, principalmente a esterificação química, onde são descritos vários métodos para a obtenção dos ésteres de amido. O método mais utilizado envolve uma mistura acetilante composta de ácido acético glacial e anidrido acético (FEUER, 1998; TREADWAY, 1946) na presença de uma mistura catalisadora, geralmente contendo ácido sulfúrico (MURRAY, 1945).

2.3– Resíduos da Industrialização da mandioca para a obtenção de fécula

As unidades industriais que processam as raízes de mandioca para a obtenção de fécula produzem grandes quantidades de descartes considerados agressivos ao ambiente (RAUPP *et al.*, 1999). Os resíduos são partes constituintes da própria planta e gerados em função do processo tecnológico adotado. A qualidade e quantidade desses resíduos variam bastante em função de fatores como o cultivo, idade da planta, tempo de colheita e a utilização de equipamentos industriais adequados. Os principais resíduos gerados são identificados como casca, manipueira ou resíduo líquido e bagaço ou polpa residual de mandioca (CEREDA, 1994; RAUPP *et al.*, 1999; TAKAHASHI, 1987).

A casca, gerada na etapa de lavagem–descascamento, corresponde à periderme, que varia entre 2 e 5% do peso total das raízes. Constitui-se de uma fina camada celulósica de coloração marrom. Com a casca, em geral, pode sair certa quantidade de entrecasca, o que acarreta na perda de amido para as fecularias. Para se adequar à realidade das indústrias, a denominação casca expressa a mistura dessas duas frações. Devido à sua composição, a casca pode ser utilizada como material orgânico e ser incorporada na alimentação animal ou em adubos (CEREDA, 1994; TAKAHASHI, 1987).

São considerados resíduos líquidos a água de lavagem e a água de extração da fécula. A água de lavagem é gerada na etapa de lavagem-descascamento, onde carrega terra e cascas, que podem ser separadas por decantação ou peneiramento (CEREDA, 1994; TAKAHASHI, 1987).

A manipueira é a água de extração da fécula de mandioca, é de aspecto leitoso, contendo de 5 a 7% de fécula, proteínas, glicose, restos de células, ácido cianídrico, bem como outras substâncias orgânicas e minerais. A composição química da manipueira, dependendo do tipo de processamento das raízes, apresenta variações principalmente no que diz respeito ao teor de cianeto e carga orgânica. Na fabricação de farinha, devido à forma como as raízes são processadas, as concentrações de matéria orgânica e cianeto na manipueira são muito elevadas. Nas fecularias, a manipueira é menos concentrada, devido à utilização de jatos de água sobre a massa de mandioca com o intuito de melhorar a extração da fécula. No entanto, esse procedimento aumenta o volume de água utilizado. As indústrias de fécula de mandioca são consideradas altamente poluidoras. Uma fecularia que processa 1 tonelada de raiz de mandioca por dia produz a poluição equivalente a resíduos gerados por 200 – 300 habitantes por dia (FIORETTO, 1994; TAKAHASHI, 1987).

Existem muitos estudos para o aproveitamento da manipueira. FIORETTO (1994) e TAKAHASHI (1987) afirmam que a manipueira não afeta as propriedades físicas do solo, aumentando o teor de matéria orgânica, fósforo e potássio do mesmo, transformando-se em um ótimo fertilizante. PONTE, citado por PONTE (1994), publicou uma série de trabalhos científicos empregando a manipueira como nematicida, inseticida e fungicida, assim revelando-a como um produto eficiente e sem risco de toxidez. Outros trabalhos abordam a utilização da manipueira como substrato para a produção de biomassa, de álcool e ácido cítrico, entre outros (CABELLO e LEONEL, 1994; CEREDA, 1994; SRIROTH *et al.*, 2000).

2.3.1- Bagaço de mandioca

O bagaço de mandioca é o principal resíduo sólido produzido nas fecularias (RAUPP *et al.*, 1999). É composto pelo material fibroso da raiz, contendo parte da fécula que não foi extraída durante o processamento. A quantidade de bagaço produzido em fecularias é bastante elevada, sendo gerados cerca de 900 kg de bagaço com 85 % de umidade para cada tonelada de raiz processada (LEONEL, CEREDA e ROAU, 1999).

A composição varia principalmente quanto ao teor de amido, que tem uma relação direta com a variedade de mandioca e com a eficiência do processo de extração (LEONEL e CEREDA, 2000). Na tabela 2.4 apresentam-se as diferentes composições do bagaço de mandioca determinadas por vários autores. Foram analisadas amostras de bagaço obtidas de diferentes fecularias do estado do Paraná (PANDEY *et al.*, 2000).

Tabela 2.4- Composição físico – química do bagaço de mandioca (g / 100g peso seco)

Composição	Socol (1994)	Cereda (1994)	Sterz (1997)	Vandenberghe (1998)
Umidade	5,02	11,18	10,70	11,35
Proteínas	1,57	1,98	1,60	1,76
Lipídeos	1,06	2,47	0,53	0,65
Fibras	50,55	16,54	22,20	21,25
Cinzas	1,10	2,32	1,50	1,55
Carboidratos	40,50	65,51	63,40	63,35

Fonte: PANDEY *et al.*, (2000).

Os teores de acidez, assim como os valores de pH, também são bastante variáveis, provavelmente porque ocorrem fermentações naturais, uma vez que o bagaço apresenta elevado teor de umidade (CEREDA, 1996).

2.3.2- Aplicações do Bagaço de mandioca

No Brasil, o bagaço de mandioca é um grande problema para as fecularias, pois devido à elevada capacidade em reter água, o processo de secagem ou transporte desse resíduo representa alto custo, não motivando os produtores a aproveitar esse material para outros fins. Com frequência, uma solução imediata é o depósito do bagaço em terrenos próximos às indústrias. O descarte indevido desse material representa um problema ambiental, além de um desperdício de uma matéria-prima que poderia ser melhor aproveitada (CEREDA, 1996; CURTO, 1998).

Muitas vezes os produtores de fécula doam o bagaço para ser utilizado na alimentação animal. Mesmo assim, acaba sendo um material pouco atrativo por ser pobre em proteínas. Para contornar esse problema, alguns autores recomendam a mistura de bagaço com farelo de algodão, como complementação protéica (CEREDA, 1994).

A legislação brasileira não inclui o bagaço de mandioca como alimento, embora permita o uso do bagaço de trigo. Usando as limitações estabelecidas como base na legislação brasileira para a farinha de mandioca, o bagaço apresenta uma composição bastante semelhante a da farinha, sendo apenas menos calórico (CEREDA, 1996). RAUPP *et al.* (1999), pesquisaram a utilização do bagaço na alimentação humana. Obtiveram um produto farináceo que apresentou propriedades fisiológicas semelhantes às fibras alimentares insolúveis, característica distinta das farinhas de mandioca existentes no comércio, constituindo-se em uma fonte potencial de fibra para a alimentação humana.

VANZIN, FERREIRA e BACK (2002), utilizaram o bagaço de mandioca como enriquecedor de fibras na formulação de biscoitos. Os resultados dos biscoitos assados, com a adição de 10% de bagaço, demonstraram características de sabor e aparência semelhantes aos biscoitos integrais, mostrando que esse material pode ser empregado na preparação desse tipo de alimento.

Nos últimos anos, pesquisas vêm sendo realizadas na tentativa de transformar os resíduos gerados pela agroindústria em subprodutos. PANDEY *et al.* (2000), utilizaram o bagaço de mandioca como substrato para processos microbianos, obtendo produtos com

maior valor agregado como compostos aromáticos, ácidos orgânicos e cogumelos comestíveis.

O bagaço mostrou grande potencial quando utilizado como substrato para o crescimento de cogumelos comestíveis, principalmente quando misturado ao bagaço de cana. Entre os vários compostos produzidos por microrganismos, a produção de ácido cítrico merece especial atenção, por ser um produto utilizado em diversos setores como em indústrias alimentícias, farmacêuticas e de cosméticos. A utilização do bagaço de mandioca como substrato na produção de ácido cítrico foi considerada excelente, dando 13,64 g de ácido cítrico para cada 100 g de substrato seco, o que equivale a um rendimento de 41,78%. Em condições ótimas de fermentação, o rendimento pode chegar em até 70%, segundo PANDEY *et al.* (2000).

Outra alternativa para se aproveitar o bagaço é utilizá-lo na produção de bandejas descartáveis e de suportes para mudas de plantas. O CERAT (Centro de Raízes e Amidos Tropicais da Unesp, Botucatu - SP) é um dos grupos de pesquisa que desenvolvem as bio-embalagens utilizando como matérias-primas a fécula e o bagaço de mandioca, com o objetivo de substituir as embalagens confeccionadas a partir de polímeros derivados do petróleo e também de polpa moldada ou papelão.

Por ser uma fonte natural renovável, a mandioca só agrega benefícios à produção de embalagens, permitindo a redução do impacto ambiental causado pelo descarte de materiais derivados do petróleo. Substituir as embalagens para alimentos, obtidas a partir do papelão, é outro aspecto importante. Essas embalagens são confeccionadas a partir do papel reciclado, que utiliza papéis de origem muitas vezes desconhecida. O bagaço de mandioca possui vantagens sanitárias sobre o mesmo, uma vez que é proveniente de fonte conhecida e renovável.

2.4- Materiais Biodegradáveis – Alternativa para a diminuição do impacto ambiental causado pelos plásticos convencionais

O aumento da utilização de plásticos de origem petroquímica na produção de embalagens e recipientes descartáveis vem resultando em problemas ambientais, causados pelo acúmulo desses materiais não biodegradáveis nos aterros sanitários (GONTARD e GUILBERT, 1996; LEITE, LIMA e NASCIMENTO, 1999).

Os plásticos obtidos a partir de polímeros sintéticos já foram rotulados como “materiais falsos e de baixa qualidade”. No entanto, nas décadas de 50 e 60, investimentos foram feitos e eles foram se tornando materiais de alta qualidade e com um número de aplicações cada vez maior. O sucesso dos plásticos sintéticos pode ser explicado principalmente pelo baixo custo, fácil processamento, alta aplicabilidade e durabilidade, sendo esta última característica o ponto de maior desvantagem da sua aplicação na fabricação de embalagens descartáveis (FEIL, 1995; PALMISANO e PETTIGREW, 1992; NAYAK, 1999).

Dados estatísticos mostram que, no Brasil, são despejados de 240 a 300 mil toneladas diárias de resíduo urbano no meio ambiente, dos quais cerca de 19% são plásticos. A produção anual desse material é aproximadamente 2,2 milhões de toneladas, das quais 40% destinam-se à indústria de embalagens (SOTERO, 2001).

Os plásticos sintéticos, apesar de possuírem excelentes propriedades funcionais, são considerados não-biodegradáveis, pois são inertes à ação microbiana, demorando centenas de anos para se decomporem totalmente (LEITE, LIMA e NASCIMENTO, 1999, ROSA, FRANCO e CALIL, 2001; SOBRAL, 2000; SOUZA e ANDRADE, 2000).

Nos últimos anos, têm-se reconhecido a necessidade de reduzir a quantidade de materiais plásticos desperdiçados e descartados. Assim, muitas pesquisas vêm sendo realizadas na tentativa de substituir os polímeros sintéticos por materiais que possam ser assimilados pelo meio ambiente. Estas ações são ainda complementadas com o aumento dos esforços visando a reciclagem desse material por meio de iniciativas que combinem praticidade e economia (CORRADINI *et al.*, 2001; DA RÒZ *et al.*, 2001; FEIL, 1995; GONTARD e GUILBERT, 1996; LÖRCKS, 1998; NAYAK, 1999).

Dentro deste contexto, o interesse em utilizar insumos de fontes renováveis na elaboração de materiais que substituam os plásticos convencionais vem sendo estimulado e intensificado, com resultados bastante promissores. Entre as matérias-primas vegetais mais

utilizadas para a obtenção de materiais biodegradáveis, o amido recebe especial atenção, principalmente pelo baixo custo. É o único biopolímero termoplástico que, em escala industrial, tem o custo menor que polímeros sintéticos como o polietileno, estando disponível o ano inteiro (DA RÓZ *et al.*, 2001; FEIL, 1995).

O amido termoplástico apresenta propriedades inferiores aos plásticos convencionais, formando materiais quebradiços e higroscópicos. Muitos trabalhos têm sido publicados utilizando amidos modificados, blendas de amido e polímeros sintéticos ou compósitos de amido com fibras vegetais, visando melhorar as propriedades mecânicas dos materiais preparados (AVÉROUS, FRINGANT e MORO, 2001; CURVELO, CARVALHO e AGNELLI, 2001; DUFRESNE e VIGNON, 1998).

As fibras vegetais oferecem vantagens como o baixo custo, fácil disponibilidade e alta biodegradabilidade além de serem de fontes renováveis. As fibras naturais também são hidrofílicas, mas ainda assim possuem boas propriedades mecânicas, como de resistência ao impacto e à tração (AVÉROUS, FRINGANT e MORO, 2001; JOSEPH *et al.*, 2000; SPINACÈ *et al.*, 2001; WOLLERDORFER e BADER, 1998).

A incorporação de fibras vegetais ao amido é outra possibilidade que, além de manter a biodegradabilidade, melhora significativamente as propriedades mecânicas do material formado (AVÉROUS, FRINGANT e MORO, 2001; TITA, PAIVA e FROLLINI, 2001; WOLLERDORFER e BADER, 1998).

O Brasil tem importância mundial nas novas diretrizes de crescimento auto-sustentável por possuir grande potencial de geração de todos os tipos de biomassa (MELO e PASA, 2001).

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

Na primeira parte deste capítulo são apresentados os materiais e as metodologias empregadas na preparação dos diferentes compósitos. Na seção seguinte, são descritos os procedimentos experimentais envolvidos na modificação química do amido (acetilação), na impregnação e as análises que auxiliaram na caracterização dos materiais preparados. A técnica utilizada para a obtenção das bandejas de bagaço-papel Kraft também é apresentada neste capítulo.

3.1- Ensaios Preliminares

Diversos experimentos foram realizados, visando encontrar a melhor composição e método para o desenvolvimento dos compósitos a partir do bagaço de mandioca. Apresentam-se a seguir os materiais utilizados e os métodos empregados para a preparação das diferentes polpas e obtenção dos compósitos.

3.1.1- Compósitos de bagaço de mandioca com adição de 10% de papel Kraft, cola e resina comerciais

3.1.1.1- Materiais

- Bagaço de mandioca - o bagaço de mandioca seco foi fornecido pela empresa AMIFAR Ind. e Com. Ltda., Deodápolis – MS, com a seguinte composição centesimal determinada em laboratório: 63,10% de amido e 36,88% de fibra bruta. Na figura 3.1 mostra-se a fotografia do bagaço de mandioca seco, realizada em equipamento Estereomicroscópio, marca Optech, modelo SNZ.



Figura 3.1- Fotografia do bagaço de mandioca seco, aumento de 34X.

- Cola (HERCAT 627) - cola de breu em emulsão catiônica com 35% de sólidos.
- Resina (KYMENE 557) - resina poliamina epiclоридина com 10% de sólidos. A cola e a resina foram fornecidas pela empresa HERCULES Ind. e Com. Ltda., Curitiba – PR.
- Papel Kraft - papel de coloração marrom, com gramatura de aproximadamente 75 g/m², constituído de fibras longas com grande resistência mecânica. Na figura 3.2 apresenta-se a fotografia do papel Kraft realizada em equipamento Estereomicroscópio, marca Optech, modelo SNZ.

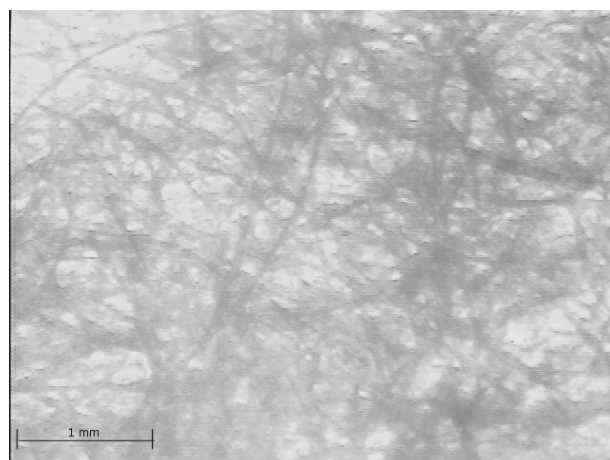


Figura 3.2- Fotografia do Papel Kraft comercial, aumento de 45X.

3.1.1.2- Método de preparação da polpa

Uma suspensão foi preparada pela adição de água ao bagaço, na proporção mássica de 10 partes de água para cada parte de bagaço. Essa suspensão foi aquecida sob agitação e mantida a 70°C durante 40 minutos. Esse procedimento promoveu a gelatinização do amido aderido às fibras do bagaço, formando uma massa homogênea, que foi colocada em um refinador, Meteor modelo Rex-1, durante 5 minutos.

Paralelamente, uma suspensão aquosa de papel Kraft também foi colocada em um refinador, na proporção de 100 partes de água para cada parte de papel e misturada durante 10 minutos para a desagregação das fibras.

O refinador foi utilizado para melhorar a interação das fibras e evitar a formação de grumos na polpa formada. O refino dos materiais é obtido pela presença de dois discos concêntricos. Durante a passagem do material, um deles gira em torno de seu eixo enquanto o outro fica estático. A distância entre eles é regulada de acordo com a vazão do material. A polpa refinada torna-se mais homogênea e adequada para a formação dos compósitos.

A suspensão bagaço-água foi misturada à suspensão papel Kraft-água e mantida sob agitação mecânica durante 5 minutos, de modo a obter uma polpa com relação mássica final bagaço/papel Kraft de 9:1.

Na etapa seguinte, cola e resina foram adicionadas à polpa nas mesmas concentrações utilizadas na Indústria de Papel e Celulose. Na tabela 3.1 apresentam-se as concentrações de cola e de resina adicionadas para cada 30g de material seco (MS).

Tabela 3.1 – Concentrações de cola e de resina para 30g de material seco (MS).

Amostras do material seco (30g)	Concentração de cola (g/30g MS)	Concentração de resina (g/30g MS)
Bagaço/papel Kraft - a1	0	0
Bagaço/papel Kraft - a2	0,50	0,45
Bagaço/papel Kraft - a3	1,00	0,75
Bagaço/papel Kraft - a4	1,15	1,00
Bagaço/papel Kraft - a5	2,30	1,70

3.1.1.3- Método de obtenção dos compósitos

As polpas com diferentes concentrações de cola e resina foram colocadas, separadamente, em um funil de Büchner acoplado a uma bomba a vácuo, marca TECNAL, modelo TE-058 com vácuo de 400 mmHg, para sofrerem uma pré-desumidificação. Posteriormente essas polpas foram espalhadas sobre placas de vidro e mantidas em estufa a aproximadamente 100°C por 4 horas, para secagem.

Na figura 3.3 apresenta-se uma ilustração da preparação dos compósitos de bagaço-papel Kraft preparados com diferentes concentrações de cola e resina comerciais.

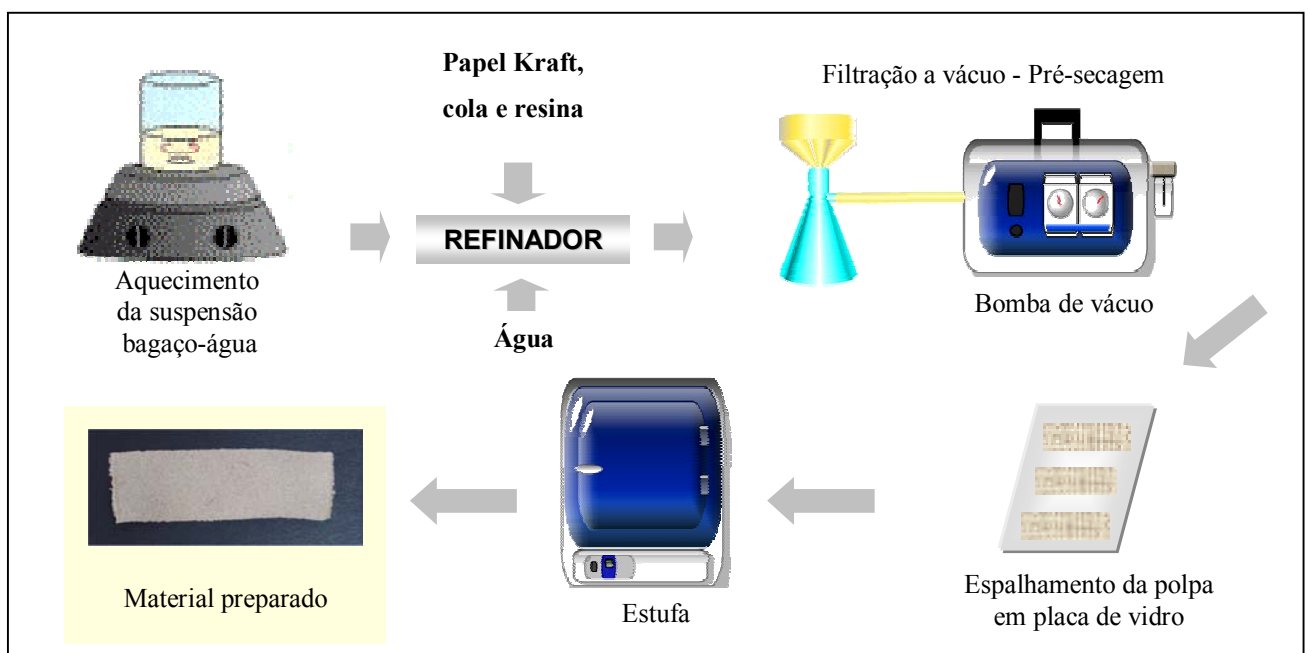


Figura 3.3 – Metodologia de obtenção dos compósitos de bagaço-papel Kraft com cola e resina.

3.1.2- Compósitos de bagaço de mandioca com adição de 10% e 30% de fibras de mandioca

3.1.2.1- Materiais

- Bagaço de mandioca
- Fibras de mandioca - resíduo fibroso proveniente das farinheiras. Fornecidas pela empresa GABI Ind. e Com. Ltda., Cândido Mota – SP. Na figura 3.4 mostra-se a fotografia das fibras de mandioca em Estereomicroscópio, marca Optech, modelo SNZ.



Figura 3.4- Fotografia das Fibras de mandioca, aumento de 25X.

3.1.2.2- Método de preparação das polpas

Foram preparadas duas suspensões de bagaço/fibras, a primeira constituída de bagaço com a adição de 10% de fibras de mandioca e a segunda de bagaço com a adição de 30% de fibras de mandioca. Essas suspensões foram utilizadas para estudar a influência das percentagens de fibras adicionadas nas propriedades mecânicas dos materiais preparados.

A suspensão de bagaço-água foi preparada da mesma forma que no item 3.1.1.2.

Uma suspensão aquosa de fibras de mandioca também foi preparada no refinador, Meteor modelo Rex-1, na proporção água/fibras de mandioca de 100:1(ml/g) durante 10 minutos.

A suspensão de bagaço foi misturada à suspensão de fibras de mandioca e mantida sob agitação mecânica durante 5 minutos, de modo a obter polpas com relações mássicas finais bagaço/fibras de mandioca de 9:1 e de 7:3.

3.1.2.3 - Método de obtenção dos compósitos

A técnica empregada para a obtenção dos compósitos foi semelhante ao procedimento de obtenção de papel reciclado artesanal.

As polpas de bagaço com 10% e 30% de fibras de mandioca foram colocadas em recipientes com água na proporção água/polpa de 3:1 (v/v). Quadros com telas de náilon, de 30 × 40 cm, foram imersos nesses recipientes contendo a polpa fina e suspensos até a superfície, permitindo o escoamento da água e a permanência do material sobre as telas. Os quadros foram colocados em estufa com circulação forçada de ar a 100°C durante 2 horas para secagem. Na figura 3.5 mostra-se como foram obtidos os compósitos de bagaço-fibra de mandioca.

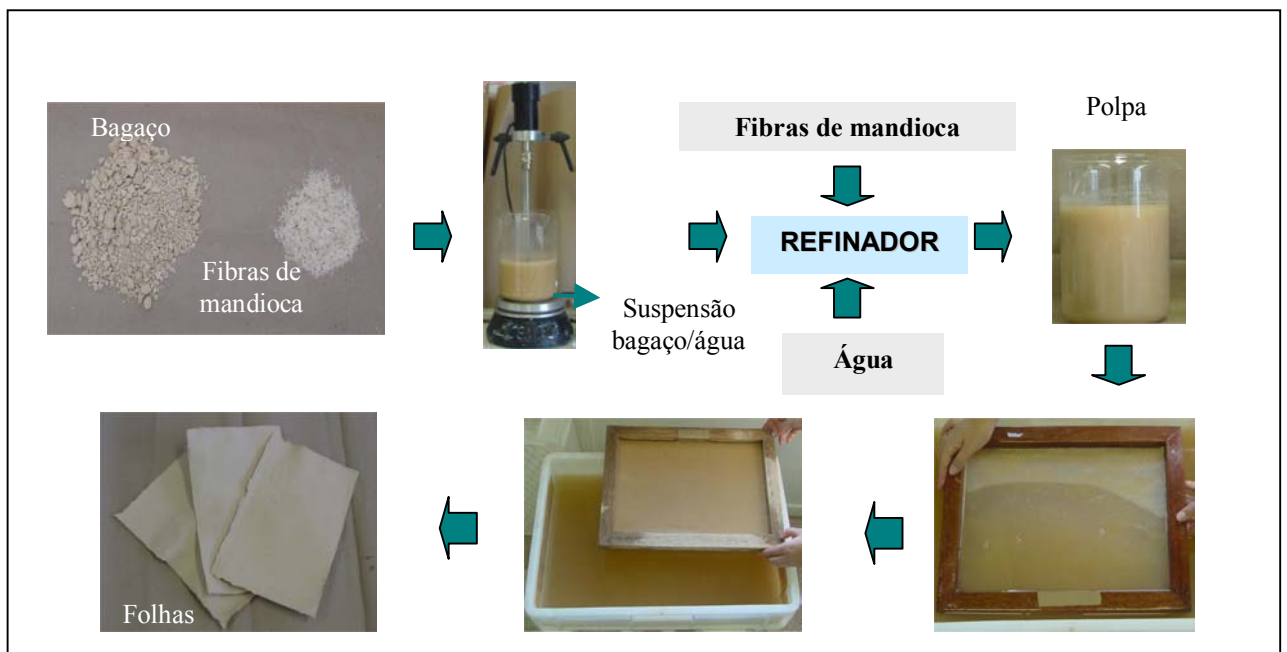


Figura 3.5 –Metodologia utilizada para a preparação dos compósitos de bagaço-fibras de mandioca.

3.2- Compósito de bagaço de mandioca com adição de 10% de papel Kraft

3.2.1-Materiais

- Bagaço de mandioca
- Papel Kraft

3.2.2- Método de preparação da polpa

A polpa de bagaço com 10% de papel Kraft foi preparada como no item 3.1.1.2, excluindo a adição de cola e resina comerciais.

3.2.3- Método de obtenção do compósito

O compósito bagaço-papel Kraft foi preparado da mesma forma que o compósito bagaço-fibras de mandioca, descrito no item 3.1.2.3. Na figura 3.6 apresenta-se a obtenção do compósito bagaço-papel Kraft.

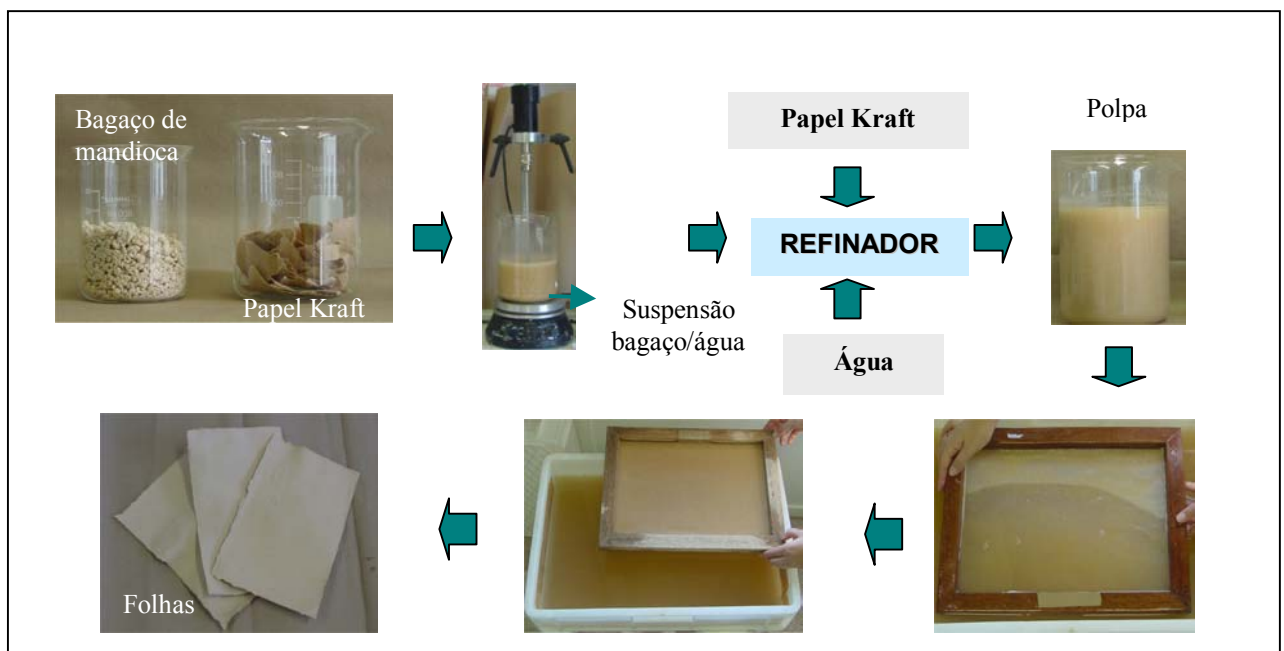


Figura 3.6 - Metodologia utilizada para a fabricação do compósito de bagaço-papel Kraft

3.3- Preparação dos corpos de prova

A partir dos compósitos preparados, foram obtidos corpos de prova para os ensaios de tração, de absorção de água e isotermas de sorção. As dimensões dos corpos de prova foram de $2,5 \times 10,0$ cm para os ensaios de tensão-deformação e absorção de água, e de $4,0 \times 4,0$ cm para as isotermas. A espessura média de cada amostra foi medida em quatro pontos distintos, com micrômetro digital da marca Mitutoyo, modelo Digimatic, com precisão de $\pm 0,001$ mm.

Os corpos de prova, utilizados nos ensaios de tração e absorção de água, foram pesados em balança semi-analítica, GEHAKA modelo BG 2000, para posterior determinação da gramatura e da massa específica. Amostras com espessuras próximas foram selecionadas e condicionadas em dessecadores com solução saturada de cloreto de sódio, proporcionando uma umidade relativa de 75% a 25°C, por 7 dias.

3.4- Modificação química do amido

3.4.1- Materiais

- Fécula de mandioca (Amido). A fécula utilizada foi produzida e fornecida pela empresa AMIFAR Ind. e Com. Ltda., Deodópolis – MS.
- Reagentes químicos:
 - Ácido acético glacial P.A.
 - Anidrido acético P.A.
 - Ácido sulfúrico concentrado
 - Álcool etílico absoluto P.A.

3.4.2- Acetilação do Amido

O processo de acetilação do amido foi realizado segundo o procedimento utilizado por LAROTONDA (2002), em sua dissertação de mestrado, no Laboratório de Propriedades Físicas de Alimentos, no Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da UFSC.

A síntese do acetato de amido foi baseada na patente americana n° 5.710.269, FEUER (1998), substituindo-se o agente catalisador MSA (ácido metano sulfônico) por ácido sulfúrico concentrado. A utilização do ácido sulfúrico como catalisador é justificado por ele ser mais disponível e viável comercialmente (MURRAY, 1945).

Em um béquer de 1000 ml foram colocados 75 g de amido seco, 135 ml de ácido acético glacial e 138 ml de anidrido acético. A solução foi aquecida a 40°C com agitação, para assegurar uma mistura completa. Após atingir a temperatura desejada, retirou-se a mistura do aquecimento e cuidadosamente adicionou-se a ela uma mistura catalisadora (1,05 ml de ácido sulfúrico concentrado e 12,45 ml de ácido acético glacial). Em seguida a solução foi aquecida até atingir a temperatura de reação de 80°C, mantendo-se a agitação durante 2 horas. Após este intervalo de tempo, adicionou-se aproximadamente 250 ml de água destilada resfriada (5-6°C), para auxiliar na precipitação do acetato de amido. Após a decantação do precipitado, o sobrenadante foi retirado e descartado. O precipitado foi lavado, com excesso de água destilada, e filtrado em funil de Büchner para posterior secagem em estufa a 60°C por 8 horas. Na Figura 3.7 apresenta-se esquematicamente o procedimento utilizado para a obtenção do acetato de amido.

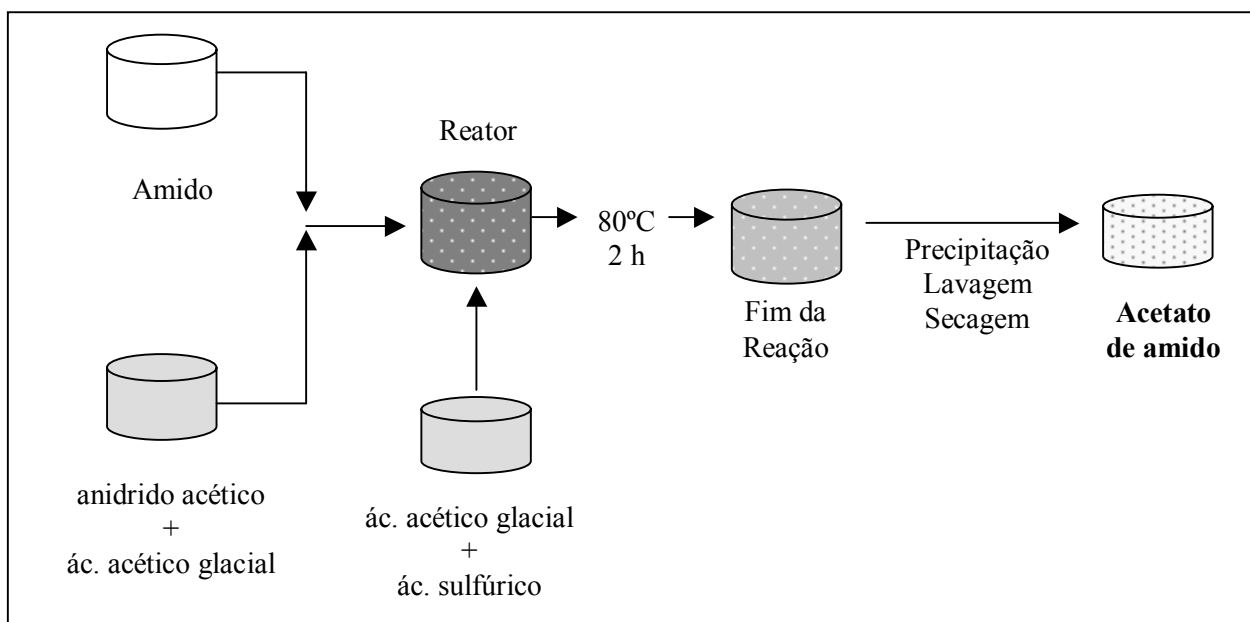


Figura 3.7- Esquema para a obtenção do acetato de amido.

Grau de Substituição (GS)

Determinou-se o grau de substituição (GS) do acetato de amido obtido através da metodologia proposta por WURZBURG (1964).

O GS da reação de acetilação indica o número médio de substituições por unidade de anidroglicose do amido. O maior GS possível é 3, porque existem três grupos hidroxilas (OH) disponíveis por unidade de anidroglicose (MILADINOV e HANNA, 2001). NARAYAN, BLOEMBERGEN e LATHIA (1999), mostraram que acetatos de amido com GS entre 1,2 e 1,7 apresentaram melhores propriedades mecânicas, resistência à umidade, processabilidade e taxa de biodegradação.

Na figura 3.8 mostra-se um fluxograma para a determinação do grau de substituição (GS).

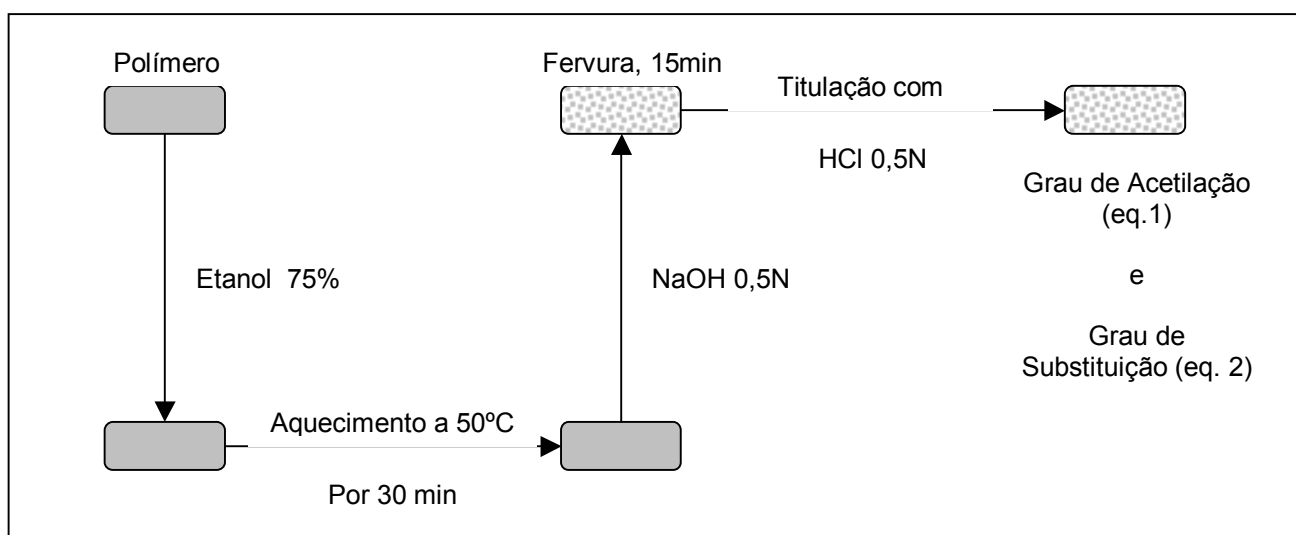


Figura 3.8 - Fluxograma para a determinação do grau de substituição (GS).

O grau de acetilação é calculado usando a equação 1:

$$\% \text{Acetilação} = \frac{(V_0 - V_p) \times N_{\text{HCl}} \times 43}{\text{peso da amostra do polímero} \cdot (g)} \times 100 \quad (1)$$

Onde: V_0 = Volume de HCl gasto na ausência do polímero
 V_p = Volume de HCl gasto na presença do polímero
 N_{HCl} = normalidade do HCl
 43 = massa molecular do grupo acetil (g/mol)

O grau de substituição (GS) é calculado do grau de acetilação usando a equação 2:

$$GS = \frac{\%Acetilação \times 3}{100} \quad (2)$$

3.5- Impregnação com acetato de amido

3.5.1- Materiais

- Clorofórmio P.A.
- Acetato de amido produzido em laboratório
- Corpos de prova obtidos a partir do compósito bagaço-papel Kraft

3.5.2- Método

Para realizar as impregnações, o acetato de amido foi solubilizado em clorofórmio nas proporções 1:5 (g/ml) e 1:10 (g/ml). Cada corpo de prova foi impregnado a partir da sua imersão nessas soluções, durante períodos de 5 e 10 minutos. O recipiente com os corpos de prova foi mantido em um dessecador sob vácuo de 600 mmHg ou a pressão atmosférica, dependendo do experimento. Na tabela 3.2 apresentam-se as diferentes condições de impregnação a que os corpos de prova foram submetidos.

Tabela 3.2 - Diferentes condições de impregnação com acetato de amido

Amostras	Acetato de amido /clorofórmio (g/ml)	Tempo de impregnação (min)	Condições
A=Sem impregnação	-	-	-
B	1:10	5	Pressão atmosférica
C	1:10	5	Vácuo
D	1:10	10	Pressão atmosférica
E	1:5	5	Pressão atmosférica
F	1:5	10	Pressão atmosférica
G	1:5	10	Vácuo

3.6 - Isotermas de Sorção

Foram utilizados 9 corpos de prova para cada compósito preparado. Esses corpos de prova foram previamente secos em estufa e condicionados em dessecadores com umidades relativas (UR) distintas, obtidas através de soluções salinas saturadas, mantidas a temperatura constante, (ROCKLAND, 1960), como é mostrado na tabela 3.3. As amostras foram pesadas periodicamente até atingirem peso constante, quando, por método gravimétrico, foram determinadas as umidades no equilíbrio. Esses dados permitiram construir as isotermas de sorção de umidade para os diferentes materiais analisados que foram realizadas no Laboratório de Propriedades Físicas de Alimentos (PROFI) do Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da UFSC.

Tabela 3.3- Umidades Relativas proporcionadas por soluções salinas saturadas a 30°C e 35°C.

Sais Utilizados	UR (%) a 30°C	UR (%) a 35°C
Hidróxido de Potássio (KOH)	7	6
Cloreto de Magnésio (MgCl ₂ . 6H ₂ O)	32	32
Carbonato de potássio (K ₂ CO ₃ . 2 H ₂ O)	42	41
Nitrato de Magnésio (MgNO ₃ . 6 H ₂ O)	52	51
Nitrito de sódio (NaNO ₂)	63	62
Cloreto de sódio (NaCl)	75	75
Sulfato de Amônio ((NH ₄) ₂ SO ₄)	79	79
Cloreto de potássio (KCl)	84	84
Sulfato de potássio (K ₂ SO ₄)	97	96

Fonte: ROCKLAND, (1960).

As isotermas de sorção de umidade determinadas experimentalmente foram ajustadas utilizando o modelo de Guggenheim-Anderson-de Bôer (G.A.B.), dado pela equação 5.

$$X_e = \frac{a \cdot b \cdot c \cdot a_w}{(1 - c \cdot a_w) \cdot [1 + (b - 1) \cdot c \cdot a_w]} \quad (5)$$

onde X_e é a umidade de equilíbrio em base seca; a_w é a atividade de água, a, b, c são constantes. (IGLESIAS e CHIRIFE, 1995; MOREIRA, VÁSQUEZ e CHENLO, 2000).

3.7- Análise de Resistência à Tração

O ensaio de tração teve como objetivo determinar propriedades mecânicas dos materiais, como tensão máxima, deformação específica, tensão de escoamento, entre outros. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Polímeros (POLIMAT) do Departamento de Química da UFSC, seguindo a norma D828-97 da ASTM (1997), em uma Máquina Universal de Ensaio de Tração, modelo DL2000, marca EMIC, na temperatura de 25°C com velocidade constante de operação de 5mm min⁻¹ utilizando uma célula de carga de 500 N. Para cada compósito preparado foram utilizadas 12 amostras para os ensaios de tensão-deformação.

3.8- Ensaio de absorção de água

O método utilizado para a absorção de água foi baseado no método de Cobb, norma ABNT NBR NM ISO 535 (1999), utilizando-se o intervalo de tempo de 1min. Consiste em uma análise gravimétrica na qual um corpo de prova com área conhecida é pesado antes e depois de sua imersão em água destilada, por tempo definido. Foram utilizados 5 corpos de prova para cada compósito analisado. Os ensaios de absorção de água foram realizados no Laboratório de Propriedades Físicas de Alimentos (PROFI) do Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da UFSC.

3.9- Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura foi utilizada para estudar a microestrutura dos materiais. As microscopias das amostras foram realizadas no Laboratório de Materiais (LabMat) do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC, utilizando um microscópio eletrônico de varredura da marca Philips, modelo XL-30, com fonte de elétrons de tungstênio e detector de elétrons secundários e retroespalhados. As amostras foram recobertas com uma fina camada de ouro por um metalizador, marca BAL – TEC, modelo SCD 005. Todas as amostras foram examinadas usando uma voltagem de aceleração de 20 kV.

3.10- Análise quantitativa da impregnação de acetato de amido nas amostras do compósito bagaço-papel Kraft

Para provar que o acetato de amido, além de formar um filme sobre o material, preenche parte dos poros internos das amostras, foram realizadas duas análises quantitativas. Primeiramente, as dimensões da amostra, antes e após a impregnação, foram determinadas usando um micrômetro, como descrito no item 3.3. Considerou-se a variação da espessura sendo a espessura do filme de acetato de amido formado sobre o material. A espessura do filme foi então utilizada juntamente com as outras dimensões da amostra para calcular o volume desta. Conhecendo-se a massa específica do acetato de amido, pôde-se calcular a massa do filme formado na superfície de cada amostra.

Para determinar a massa específica do filme de acetato de amido, alguns filmes foram obtidos por *casting* em placas de vidro. Após esta etapa, os filmes foram secos, triturados e utilizados para preparar suspensões aquosas com concentrações conhecidas de acetato de amido. A massa específica do filme de acetato de amido foi determinada em triplicata por picnometria (ISMAIL, 1986; LEWIS, 1993), considerando a aditividade dos volumes de acetato e de água. Na figura 3.9 apresenta-se um esquema com a nomenclatura utilizada na determinação das dimensões dos corpos de prova. As equações (3) e (4) foram utilizadas para a determinação do volume e da massa do filme, respectivamente.

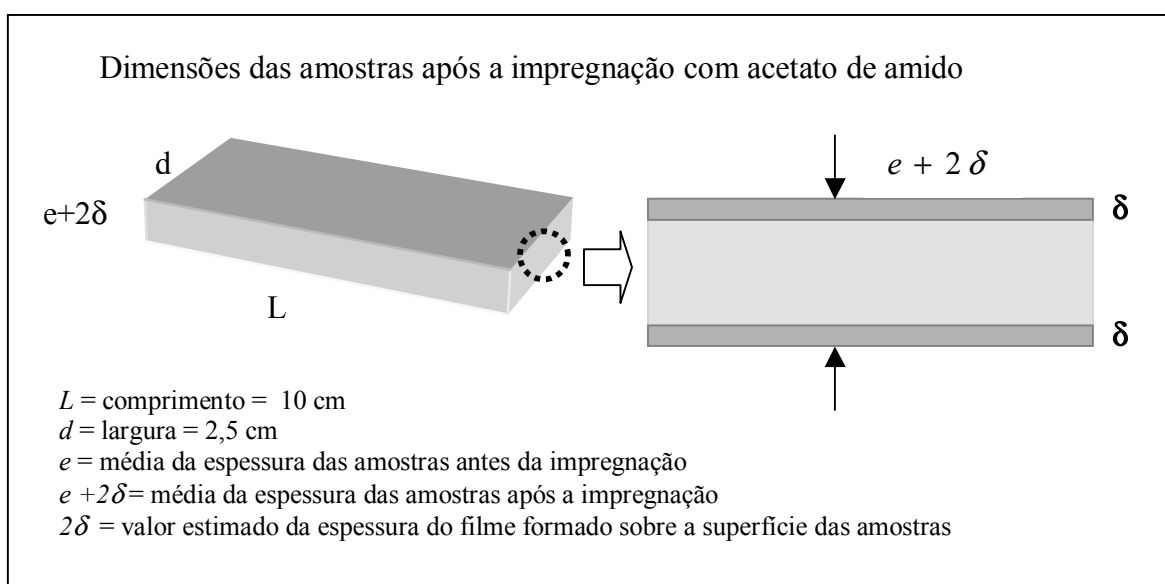


Figura 3.9- Nomenclatura utilizada para a determinação das dimensões dos corpos de prova.

$$V_{filme} = L \times d \times 2\delta \quad (3)$$

$$m_{filme} = \rho_{filme} \times V_{filme} \quad (4)$$

A variação de peso das amostras (Δm_{filme}), proporcionada pela impregnação, foi determinada pelas medidas antes e após a impregnação da solução de acetato de amido. A comparação das massas dos filmes calculadas pela equação (4), com as variações de massa das amostras, determinadas por pesagem, indicará se ocorreu impregnação nos poros do compósito bagaço-papel Kraft.

3.11- Porosimetria de Mercúrio

Análises de porosimetria por intrusão de mercúrio foram realizadas no Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas (LMPT) do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC, em equipamento Porosizer Micromeritics 9320. Os materiais foram submetidos a diferentes pressões e o intervalo de tempo entre uma pressão e outra foi de 60 segundos para obter equilíbrio entre a pressão do mercúrio líquido na cavidade do porosímetro e a pressão capilar no interior da amostra.

3.12 – Técnica empregada para a obtenção das Bandejas de bagaço - papel Kraft

A polpa utilizada na obtenção de bandejas de bagaço-papel Kraft foi a mesma empregada na preparação dos compósitos bagaço-papel Kraft, descrita no item 3.1.1.2.

As bandejas foram preparadas no Laboratório de Propriedades Físicas de Alimentos (PROFI) do Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da UFSC, seguindo o procedimento utilizado para a obtenção de papel reciclado artesanal, descrito no item 3.1.2.3. Os quadros com telas de náilon foram substituídos por um molde formado por telas de aço, de 10 e 80 mesh e por um suporte de aço inox.

A tela de 10 mesh foi moldada na forma de uma bandeja quadrada de dimensão 13,5 cm \times 13,5 cm \times 2,5 cm e recoberta pela tela de 80 mesh, como pode ser observado na figura 3.9 (a). No suporte de aço inox, localizado na parte superior do molde, foi feito um orifício no centro, que permitiu conectá-lo a uma mangueira de silicone ligada a uma bomba de vácuo.

No momento que o molde é imerso na suspensão e o vácuo é aplicado, a água atravessa a malha das telas e a polpa permanece aderida sobre elas tomando a forma do molde. Após esta etapa, o material foi levado para a estufa e secado a 100°C por 2 horas. Foram produzidas 10 bandejas de bagaço-papel Kraft. Na figura 3.10 apresentam-se as etapas para a obtenção dessas bandejas.

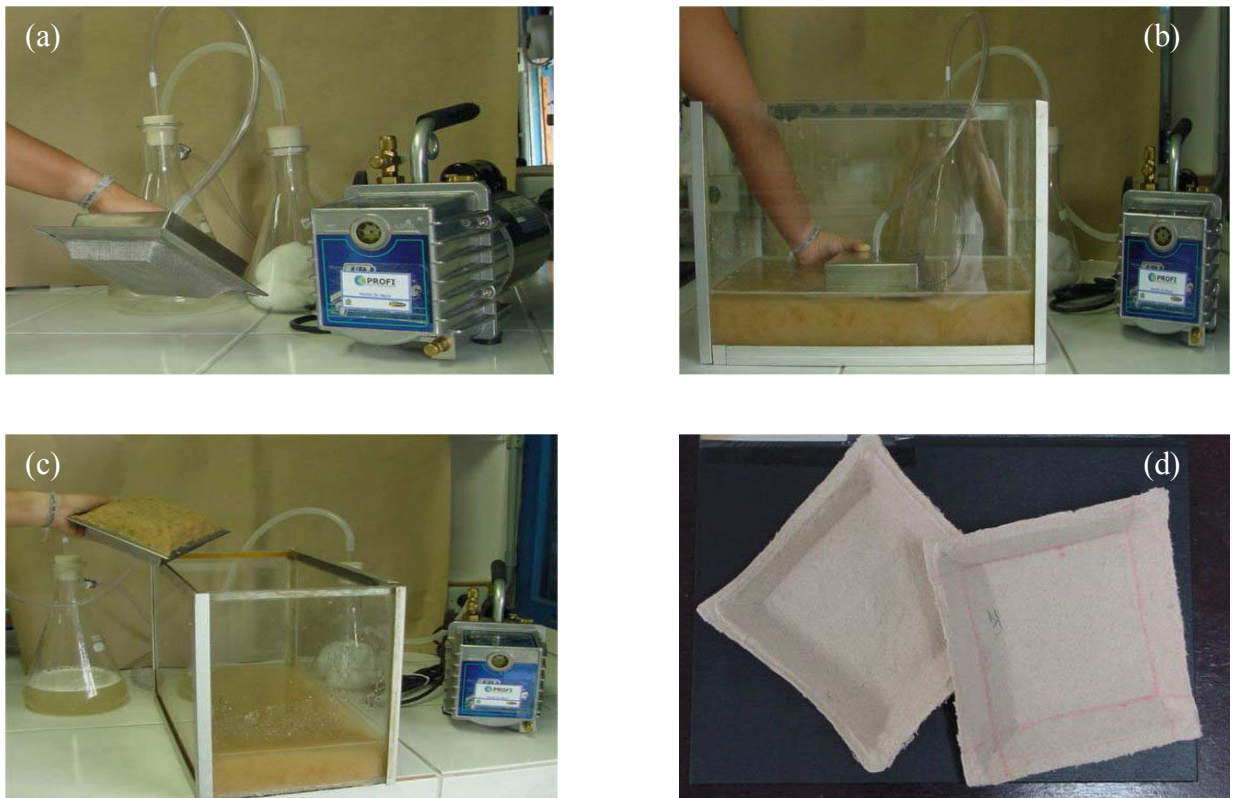


Figura 3.10- (a)- Molde conectado à bomba de vácuo; (b)- Imersão do molde no recipiente contendo a suspensão bagaço-papel Kraft; (c)- polpa aderida ao molde; (d)- Bandejas.

Os compósitos e as bandejas preparadas apresentaram características próximas a materiais de polpa moldada, como as embalagens de papelão para ovos. Assim, amostras de polpa moldada comercial foram utilizadas como material padrão, possibilitando uma comparação entre os resultados deste com os diversos compósitos preparados.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados das isotermas de sorção de umidade e dos ensaios de tensão-deformação para os diferentes compósitos obtidos nos ensaios preliminares, ou seja, para os compósitos de bagaço com adição de 10% de papel Kraft e de cola e resina comerciais e para os compósitos de bagaço com adição de 10 ou 30% de fibras de mandioca.

Em seguida, discute-se os resultados dos experimentos de acetilação do amido e o efeito da impregnação do acetato de amido no compósito bagaço-papel Kraft. A partir dos corpos de prova impregnados e não-impregnados, foram realizadas análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV), de porosimetria de mercúrio e de determinação da massa específica dos mesmos. Os resultados dos ensaios de resistência à tração, de absorção de água e as isotermas de sorção de umidade também são discutidos. Para finalizar, apresentam-se alternativas para a utilização das bandejas de bagaço-papel Kraft.

4.1- Ensaios Preliminares

As fibras que constituem o bagaço de mandioca, devido ao processamento de extração da fécula, apresentam comprimento próximo a 0,5 mm, o que não auxilia na obtenção de materiais mecanicamente resistentes. Para contornar esse problema, foram adicionados ao bagaço, materiais de fibras longas disponíveis a baixo custo no mercado.

4.1.1- Compósitos de bagaço de mandioca com adição de 10% de papel Kraft, cola e resina comerciais

O papel Kraft, por ser um material constituído basicamente de fibras longas, foi adicionado ao bagaço de mandioca, visando melhorar as suas propriedades mecânicas. Além do papel Kraft, avaliou-se a influência de aditivos utilizados na fabricação de papel (cola e resina), na higroscopicidade e nas propriedades mecânicas do material preparado.

A influência da adição de cola e resina comerciais na higroscopicidade dos materiais preparados foi observada através da comparação das isotermas de sorção de umidade, figura 4.1, determinadas a 30°C.

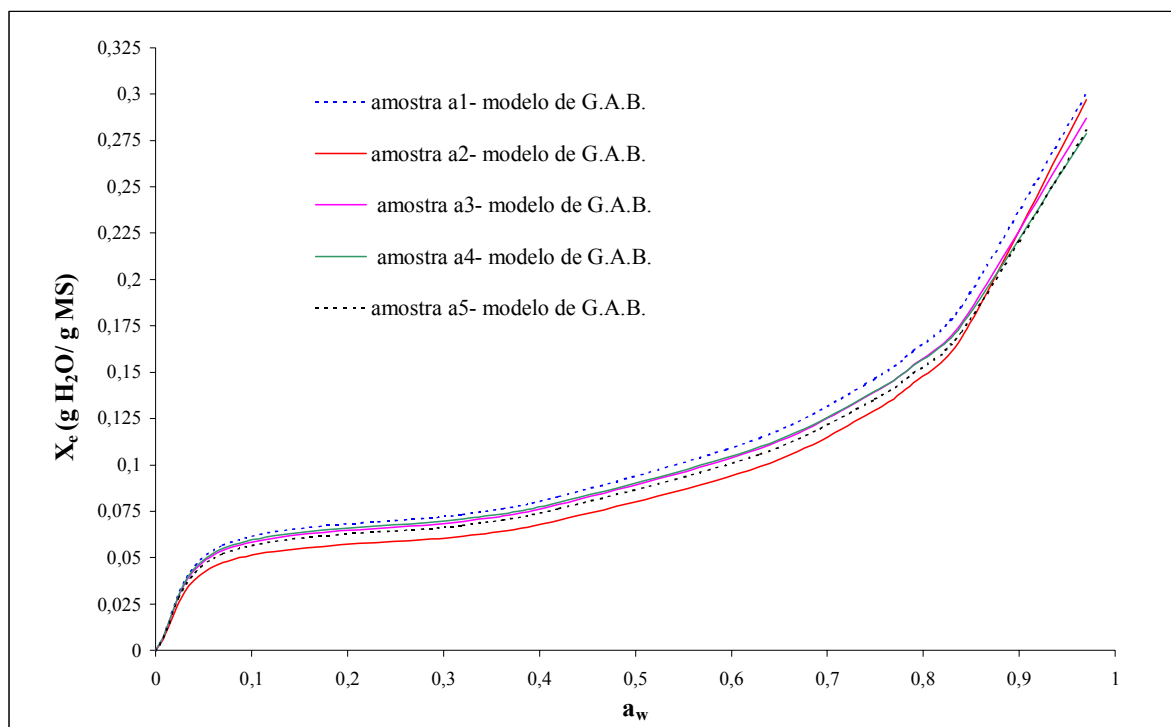


Figura 4.1- Umidade de equilíbrio em função da atividade de água (a_w), a 30°C, para os materiais preparados (a1= sem adição de cola e resina; a2= 0,5 g de cola e 0,45 g de resina para 30 g de MS; a3= 1 g de cola e 0,75 g de resina para 30 g de MS; a4= 1,15 g de cola e 1 g de resina para 30 g de MS; a5= 2,3 g de cola e 1,7 g de resina para 30 g de MS).

Comparando as amostras sem adição de cola e resina, com aquelas com diferentes concentrações desses aditivos, verificou-se que estes provocaram pequenas reduções da higroscopicidade dos diferentes materiais. Vale lembrar que a adição de cola e resina às polpas celulósicas das indústrias de papel contribui para a diminuição significativa da higroscopicidade das mesmas, ressaltando que as concentrações dos aditivos utilizados nos materiais preparados foram as mesmas concentrações aplicadas industrialmente.

Na figura 4.2 apresentam-se os alongamentos na ruptura dos compósitos preparados pela mistura de bagaço-papel Kraft com diferentes concentrações de cola e de resina e da polpa moldada retirada de uma embalagem comercial para ovos.

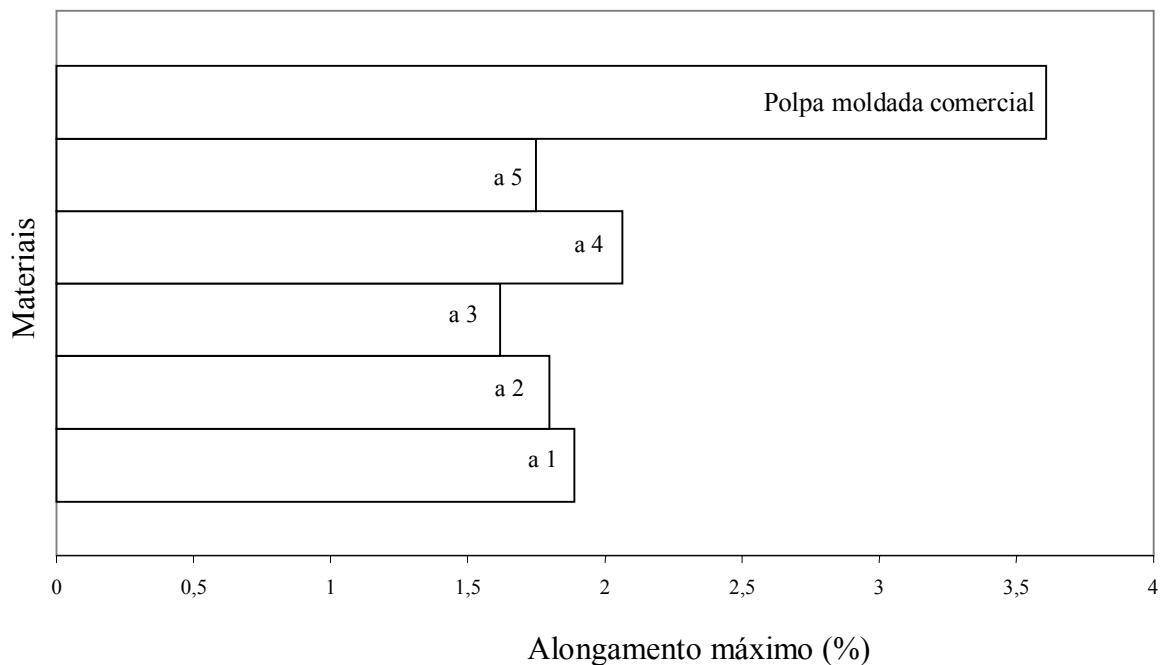


Figura 4.2 – Alongamento dos materiais analisados, na ruptura (a1= sem adição de cola e resina; a2= 0,5g de cola e 0,45g de resina para 30g MS; a3= 1g de cola e 0,75g de resina para 30g MS; a4= 1,15g de cola e 1g de resina para 30g MS; a5= 2,3 g de cola e 1,7g resina para 30g MS).

Para o material sem a presença de cola e resina, o alongamento foi praticamente o mesmo daqueles com a presença de diferentes concentrações desses aditivos. Esse resultado era esperado, já que a cola e a resina são utilizadas unicamente para a redução da higroscopicidade. A diferença entre os alongamentos da polpa moldada e dos compósitos preparados pode estar diretamente relacionada à composição e à metodologia de fabricação, já que os materiais de bagaço de mandioca apresentaram fissuras, comprometendo as propriedades mecânicas dos mesmos. Vale ressaltar que a polpa moldada é constituída basicamente de fibras longas, obtidas a partir de papéis reciclados, sendo estas fibras responsáveis pela sua maior capacidade de alongamento.

Na figura 4.3 apresenta-se a influência dos aditivos empregados, cola e resina comerciais, na resistência à tração dos compósitos elaborados, determinada na situação de ruptura.

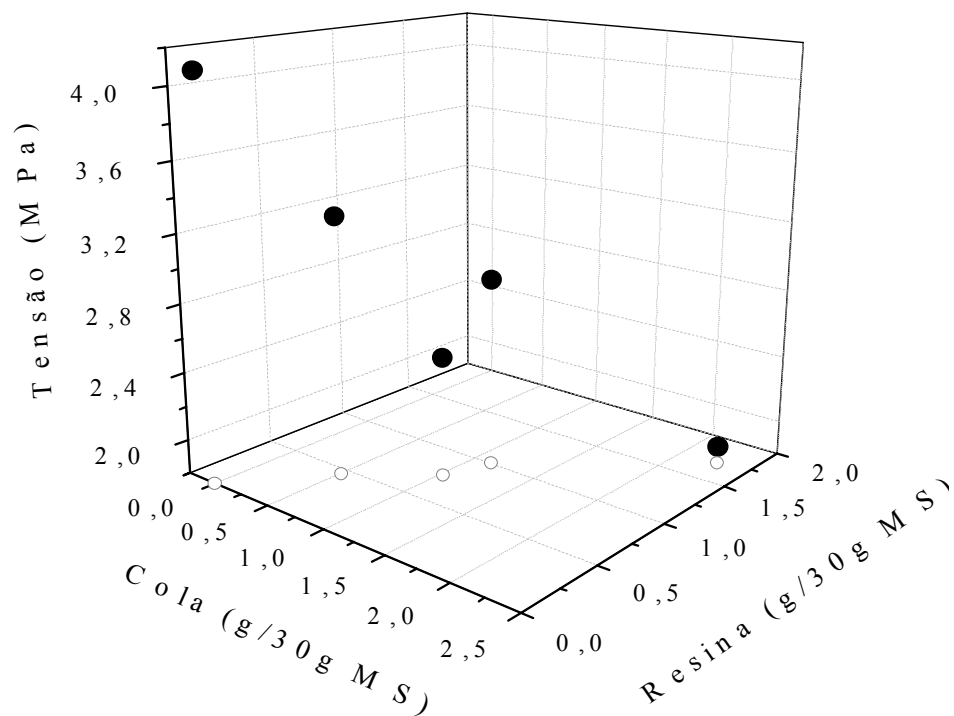


Figura 4.3- Efeito da variação da concentração dos aditivos na tensão de ruptura dos materiais.

Nos ensaios de tração, a adição de diferentes concentrações de cola e resina comerciais na composição dos materiais preparados provocou um decréscimo da resistência à tração com o aumento da concentração desses aditivos. Assim, esses aditivos tornaram os materiais mais rígidos (menor alongamento) e menos resistentes à força de tração.

A metodologia utilizada para a fabricação dos corpos de prova (espalhamento em placa de vidro) auxiliou na obtenção de materiais pouco homogêneos, acarretando a formação de fissuras e conseqüentemente reduzindo as propriedades mecânicas do material. Para melhorar a interação dos materiais que constituem os compósitos e diminuir o aparecimento das fissuras, utilizou-se nos experimentos posteriores, a técnica empregada para a obtenção de papel reciclado artesanal.

4.1.2 Compósitos de bagaço de mandioca com adição de 10% e 30% de fibras de mandioca

As fibras de mandioca são provenientes das indústrias que processam a mandioca para a obtenção da farinha. Por ser um resíduo fibroso, teve-se o interesse em utilizar essas fibras misturadas ao bagaço em substituição ao papel Kraft.

Foram avaliados os resultados das isotermas de sorção de umidade e dos ensaios de tensão-deformação para os compósitos preparados. Na figura 4.4 apresentam-se as curvas de equilíbrio de umidade para os materiais constituídos de bagaço puro e bagaço com a adição de 10% e 30% de fibras de mandioca, a 35°C.

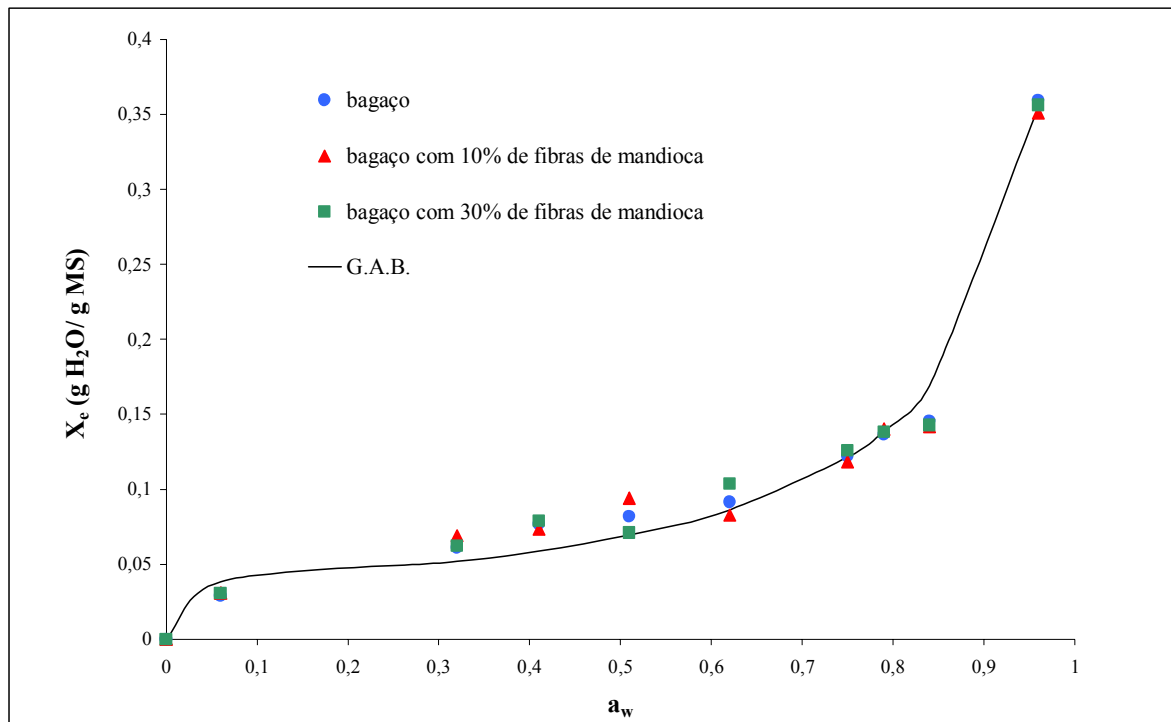


Figura 4.4- Umidade de equilíbrio em função da atividade de água (a_w), a 35°C, para os materiais preparados.

Os compostos de bagaço com adição de 10% e 30% de fibras de mandioca apresentaram curvas de equilíbrio semelhantes ao material preparado somente com o bagaço. Assim, a adição dessas fibras ao bagaço não provocou alteração da higroscopicidade dos compostos.

Nos ensaios de tensão-deformação, foram utilizados 12 corpos de prova para cada composto preparado, possibilitando a obtenção de valores médios de tensão de ruptura para cada grupo de materiais. Os resultados para os compostos de bagaço com a adição de 10 e 30% de fibras de mandioca estão apresentados na figura 4.5.

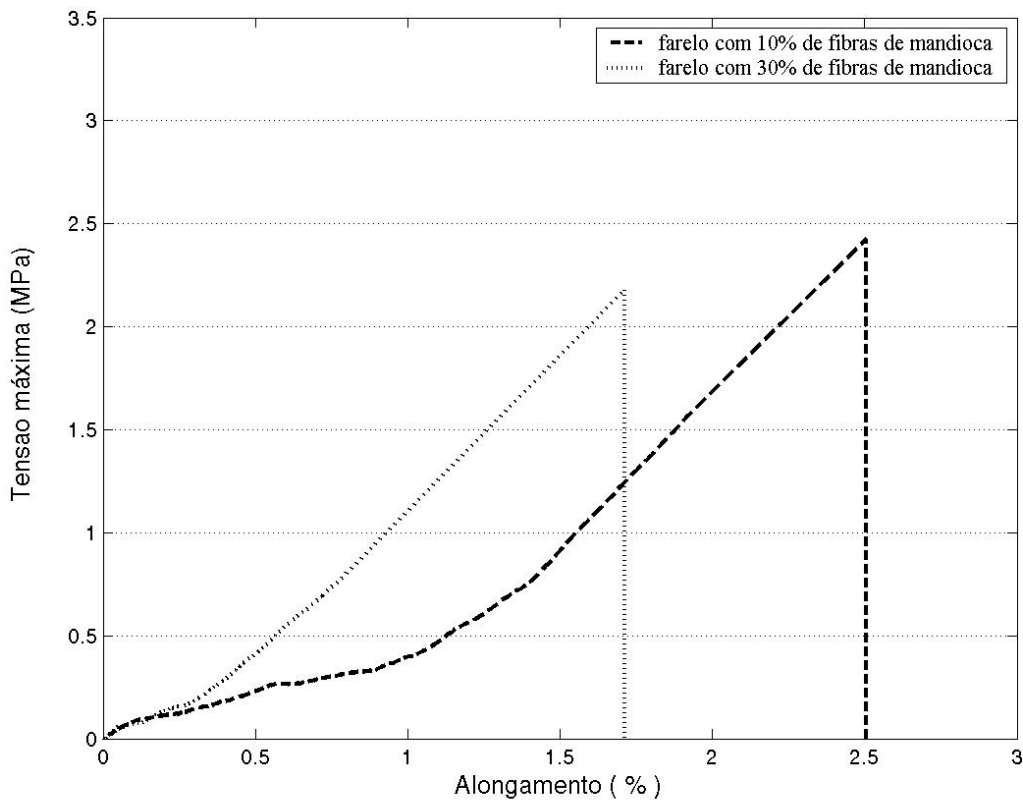


Figura 4.5- Valores médios de tensão e alongamento para os diferentes materiais analisados

O compósito de bagaço com a adição de 30% de fibras de mandioca apresentou um alongamento menor e suportou tensões da mesma ordem que o compósito de bagaço com 10% de fibras. As fibras de mandioca, antes de serem misturadas ao bagaço, foram desagregadas em um refinador com água para melhorar a interação dos materiais fibras-bagaço, mas os resultados mostraram compósitos bastante quebradiços e pouco homogêneos. Na figura 4.6 apresenta-se a fotografia do compósito de bagaço com a adição de 30% de fibras de mandioca.

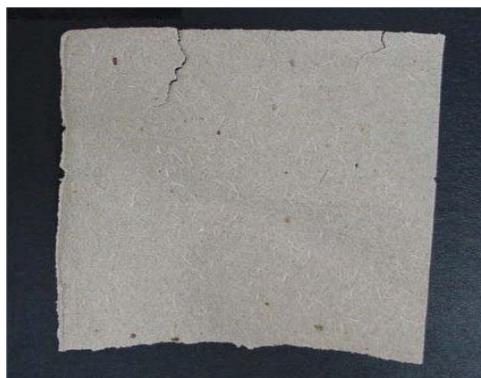


Figura 4.6- Fotografia do compósito de bagaço com adição de 30% de fibras de mandioca.

Na figura 4.7 apresenta-se o gráfico do valor médio das tensões máximas para os materiais analisados. O desvio padrão, para cada material, está apresentado na mesma figura.

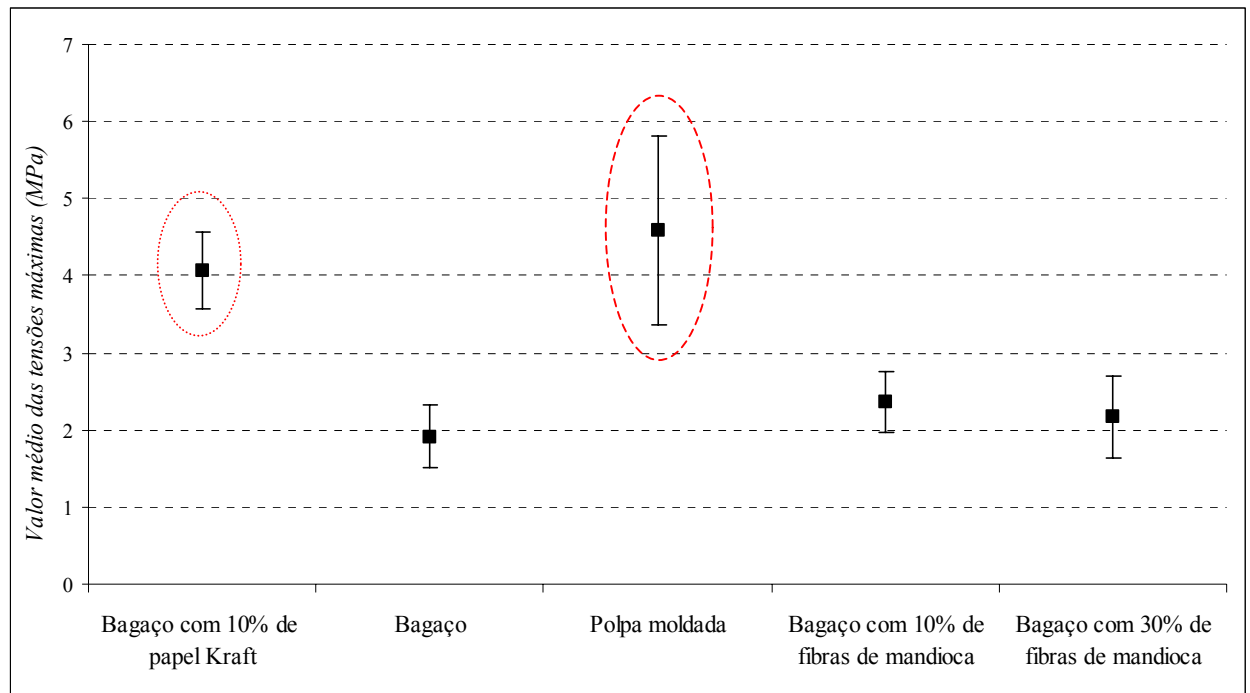


Figura 4.7- Valor médio das tensões de ruptura, para os diferentes materiais analisados.

Pode-se observar na figura 4.7, que a tensão de aproximadamente 4,0 MPa, suportada pelo compósito bagaço-papel Kraft, foi a que mais se aproximou dos resultados obtidos para a polpa moldada das “caixinhas” para ovos, material utilizado como referência neste trabalho. Os demais compósitos suportaram tensões inferiores, da ordem de 2,5 MPa. Esses resultados permitiram a escolha do compósito com as melhores propriedades mecânicas, com o qual estudos posteriores foram realizados.

4.2- Acetilação do Amido

Na reação de acetilação, inicialmente a mistura reagente apresenta-se como uma solução branca, pouco viscosa. Na etapa seguinte, torna-se uma solução de coloração âmbar, translúcida e viscosa. Ao término da reação, foi adicionada água gelada à mistura e observou-se a precipitação de partículas brancas. O precipitado, depois de ser lavado várias vezes com água destilada, foi secado em estufa a 70 °C por 8 horas.

O acetato de amido, após a secagem, apresentou-se como um pó branco, solúvel em solventes orgânicos como a acetona e o clorofórmio. Esses resultados também foram relatados por FEUER (1998), LAROTONDA (2002) e TREADWAY (1946).

Grau de Substituição do acetato de amido

O GS foi obtido em triplicata, fornecendo boa reprodutibilidade. A massa de acetato de amido utilizada foi de 1,0 g, e a percentagem de acetilação obtida foi de 47,1%. O valor do GS encontrado foi de 1,41.

A reação de acetilação foi realizada a aproximadamente 80°C, temperatura de reação em que o grau de substituição se mantém na faixa entre 1,2 e 1,7 (LAROTONDA, 2002; LEPENIOTIS e FEUER, 1997). A tabela 4.1 mostra a média dos valores do GS obtidos por LAROTONDA (2002), mostrando que o GS encontrado neste trabalho está de acordo com resultados obtidos em trabalho anterior.

Tabela 4.1- Grau de substituição do acetato de amido por LAROTONDA (2002).

Amostras	m _{polímero} (g)	ΔV_{HCl} (ml)	% Acetilação	Grau de Substituição
50°C	1,0	14,65	30,90	0,93
60°C	1,0	19,20	40,50	1,22
80°C	1,0	23,65	50,00	1,50
90°C	1,0	24,65	51,96	1,56
95°C	1,0	24,10	52,90	1,59

4.3- Compósito de bagaço-papel Kraft impregnado com acetato de amido

Os corpos de prova do compósito bagaço-papel Kraft foram submetidos a diferentes condições de impregnação, ou seja, diferentes tempos de imersão, diferentes concentrações de acetato de amido em clorofórmio e diferentes condições de impregnação (a vácuo ou a pressão atmosférica). As amostras obtidas foram analisadas quanto à tensão e deformação na ruptura e quanto à absorção de água.

4.3.1- Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Nas figuras 4.8, 4.9 e 4.10, apresentam-se as micrografias da superfície e da superfície crio-fraturada, das amostras não impregnadas, impregnadas à pressão atmosférica e impregnadas a vácuo, respectivamente.

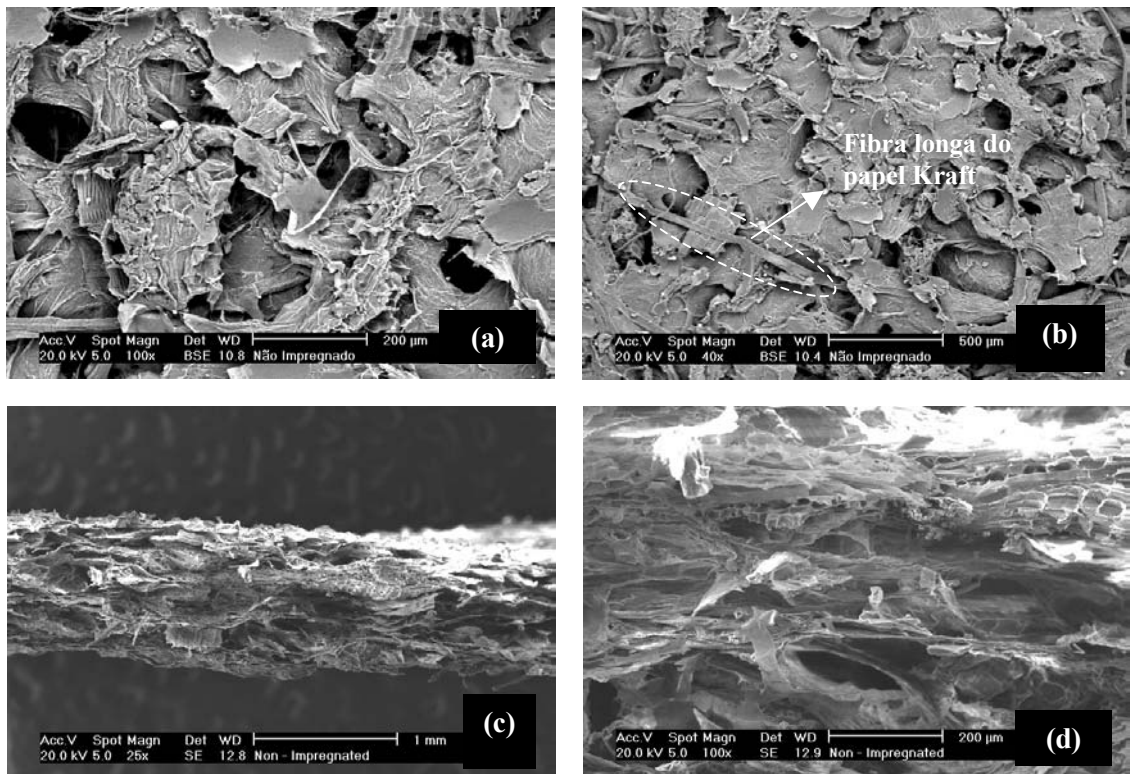


Figura 4.8- Micrografias da superfície e da superfície crio-fraturada do ensaio de tração das amostras sem impregnação: (a) e (b) superfície da amostra com aumento de 100X e de 40X, respectivamente, (c) e (d) superfícies crio-fraturadas da mesma região da amostra com aumento de 25X e de 100X, respectivamente.

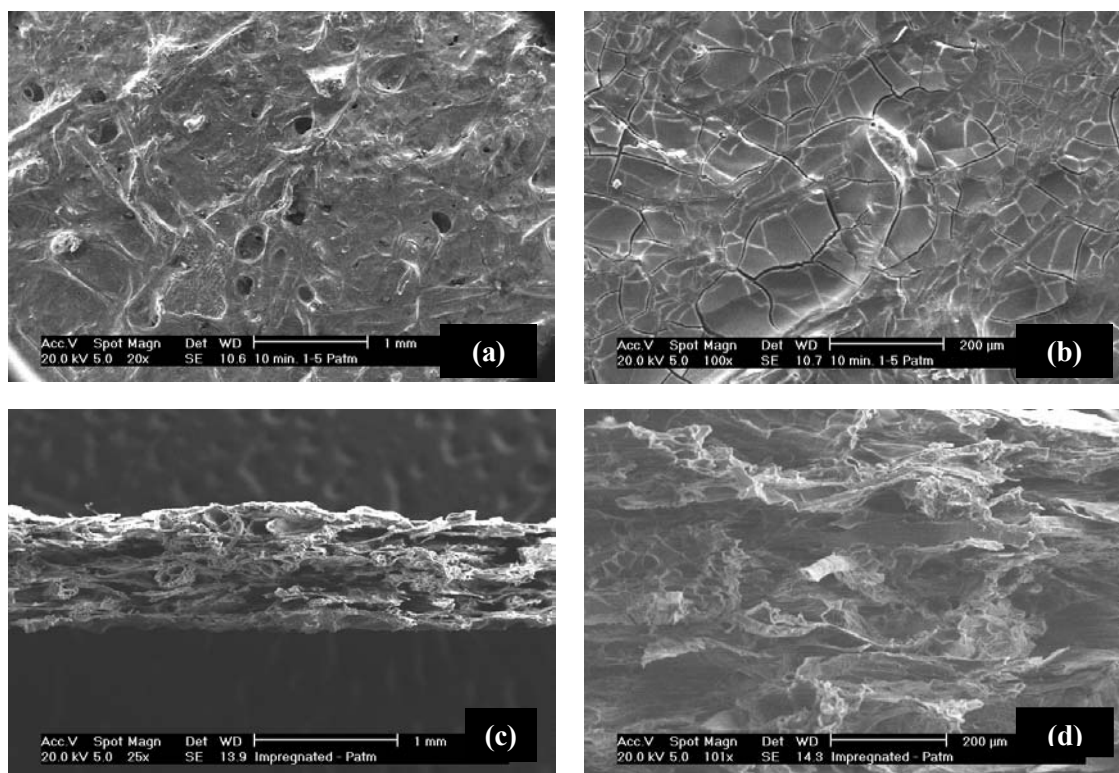


Figura 4.9- Micrografias da superfície e da superfície crio-fraturada do ensaio de tração das amostras impregnadas por 10min, na concentração 1:5 e a pressão atmosférica: (a) e (b) regiões diferentes da mesma superfície com aumento de 20X e de 100X, respectivamente, (c) e (d) superfícies crio-fraturadas da mesma região da amostra com aumento de 25X e 101X, respectivamente.

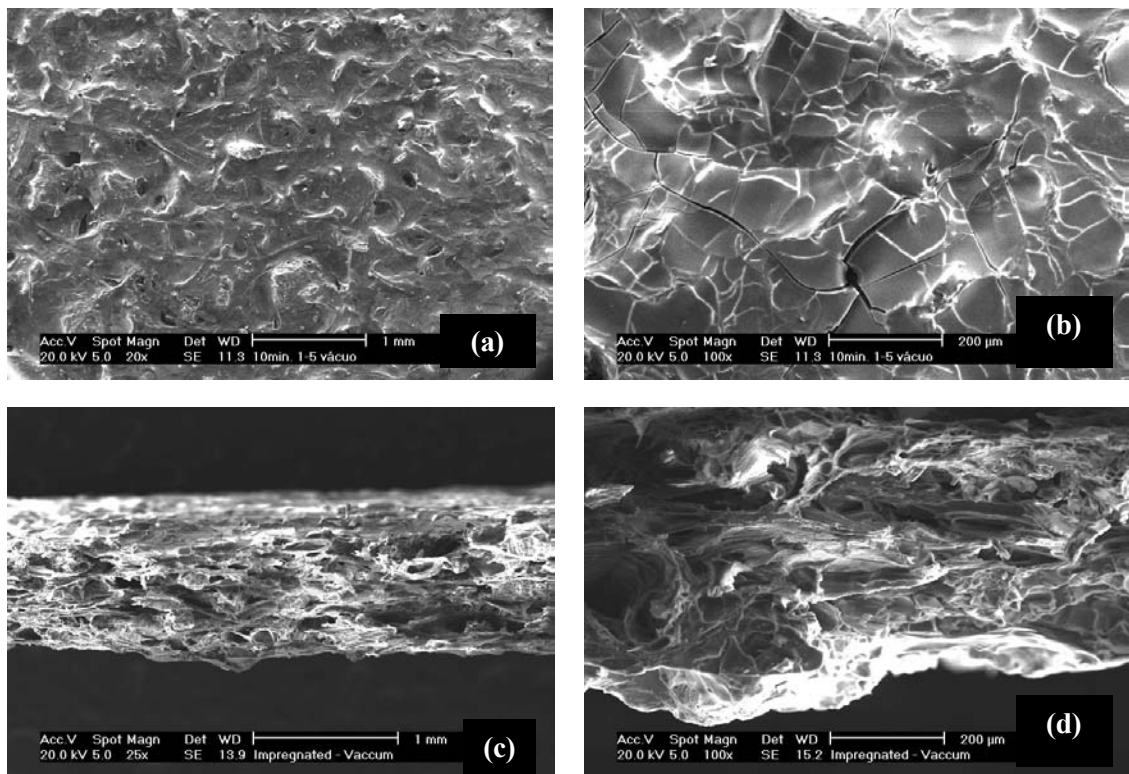


Figura 4.10- Micrografias da superfície e da superfície crio-fraturada do ensaio de tração das amostras impregnadas a vácuo, por 10min e na concentração 1:5: (a) e (b) regiões diferentes da mesma superfície com aumento de 20X e 100X, respectivamente (c) e (d) superfícies crio-fraturadas da mesma região da amostra com aumento de 25X e 100X, respectivamente.

As micrografias apresentadas na figura 4.8 mostram as fibras longas de papel Kraft e o bagaço, formando um material heterogêneo e bastante poroso. A impregnação com acetato de amido modificou significativamente a superfície do material, tornando-a mais homogênea, mas com a presença de fissuras no filme formado na superfície, como pode ser observado nas figuras 4.9 e 4.10. Fissuras semelhantes a essas foram encontradas por LAROTONDA (2002) em filmes de acetato de amido obtidos por espalhamento (“casting”). Essas fissuras se formam durante a secagem dos filmes quando o clorofórmio, que é utilizado para solubilizar o acetato de amido, é evaporado e os espaços vazios deixados pelo mesmo são preenchidos pelo ar, provocando o aparecimento das fissuras (EICHLER *et al.*, 1997).

As superfícies fraturadas das amostras impregnadas a pressão ambiente ou a vácuo mostraram que a parte interna dos compósitos apresenta um comportamento semelhante ao material não impregnado, ou seja, um material bastante poroso.

As micrografias das fraturas não forneceram informações conclusivas sobre o nível do processo de impregnação.

4.3.2- Espessura, massa específica das amostras e do filme de acetato de amido

Observa-se na tabela 4.2, que os materiais submetidos à impregnação com soluções mais concentradas de acetato de amido, como os materiais E e F, tiveram um aumento na espessura de 52% e 48% respectivamente, quando comparados aos materiais B e D, que ficaram imersos no mesmo intervalo de tempo, mas em concentrações inferiores. O material G também foi impregnado em solução mais concentrada de acetato de amido. No entanto, apresentou um aumento da espessura 2 vezes menor que o material F. Esse resultado pode ser explicado pelo fato do material G ter sido impregnado à vácuo. Neste caso, o acetato de amido não só formou uma camada na superfície da amostra, como também penetrou nas camadas internas do material. O material C também foi impregnado à vácuo, mas por um intervalo de tempo menor e em solução de acetato de amido menos concentrada. Talvez por isso o resultado obtido não tenha mostrado diferença significativa quando comparado ao material B. Outras modificações das amostras de compósito, promovidas pela impregnação a vácuo foram evidenciadas e são apresentadas a seguir.

Tabela 4.2- Aumento da espessura dos materiais após a impregnação com acetato de amido em diferentes condições.

Materiais	Espessura – Antes da impregnação (mm)	Espessura – Após a impregnação (mm)	Aumento da espessura (mm)
A	0,836	-	-
B	0,898	0,953	0,055
C	1,042	1,096	0,054
D	0,878	0,956	0,078
E	0,900	1,014	0,114
F	0,931	1,082	0,151
G	1,081	1,146	0,065

(A= Não impregnado; B= 5min 1:10; C= vácuo, 5min 1:10; D= 10min 1:10; E= 5min 1:5; F= 10min, 1:5; G= vácuo 10min, 1:5).

Na figura 4.11 estão apresentados os resultados da massa específica dos compósitos antes e após a impregnação. Observa-se que os materiais B e C, que ficaram imersos por 5 minutos na solução de acetato de amido/clorofórmio na proporção 1:10 (g/ml), tiveram um aumento na massa específica de 15 e 34%, respectivamente. Já os materiais F e G, que permaneceram imersos por 10 minutos em solução de acetato de amido/clorofórmio na proporção 1:5 (g/ml), mostraram um aumento da massa específica de 50 e 71%, respectivamente. O aumento da massa específica dos materiais C e G pode ser explicado pelo fato dos mesmos terem sido impregnados a vácuo. O vácuo retira o ar contido no material, facilitando a entrada do acetato de amido e permitindo que este preencha os poros existentes nas camadas superficiais e internas do material. Assim, a espessura não sofre grandes alterações, como observado na tabela 4.2, mas a quantidade de massa de acetato de amido no material é maior.

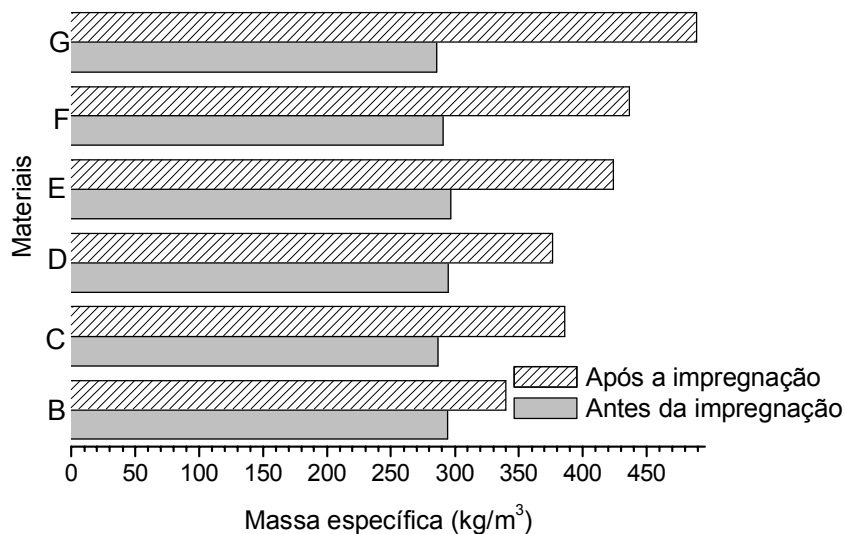


Figura 4.11- Influência da impregnação com acetato de amido na massa específica dos materiais preparados (B= 5min 1:10; C= vácuo, 5min 1:10; D= 10min 1:10; E= 5min 1:5; F= 10min, 1:5; G= vácuo 10min, 1:5).

A comparação dos valores médios da massa do filme, m_{filme} calculada pela equação (4) e a variação de massa das amostras, Δm , proporcionada pela impregnação, estão apresentadas na tabela 4.3.

Tabela 4.3- Comparação dos valores médios da massa do filme, m_{filme} , calculada pela equação (4) e da variação de massa, Δm , promovida pela impregnação.

Materiais	Valor médio da massa $_{filme}$ (g), determinado pela eq.(4)	Coefficiente de variação da massa $_{filme}$ (%)	Valor médio da Δm (g), determinado por pesagem	Coefficiente de variação da Δm (%)	Comparação entre os resultados (%)
B	0.1848	44.20	0.1464	23.37	26.0
C	0.1800	42.80	0.3085	10.94	42.0
D	0.2614	23.20	0.2518	3.70	3.8
E	0.3844	15.31	0.4080	5.31	5.9
F	0.5080	11.04	0.5042	8.30	0.8
G	0.2210	15.40	0.6290	17.00	65.0

(B= 5 min, 1:10; C= vácuo, 5min, 1:10; D= 10min, 1:10; E= 5min, 1:5; F= 10min, 1:5;

G= vácuo, 10min, 1:5)

Para as amostras C e G, onde vácuo foi aplicado, as variações de massa foram em média 42% e 65% maiores que as massas dos filmes calculadas através da equação (4). Estes resultados indicam que pelo menos metade do acetato de amido presente nessas amostras penetrou nos poros internos do material. Para os materiais “impregnados” a pressão atmosférica, os valores de Δm e m_{filme} foram muito próximos, indicando que o acetato de amido recobriu a superfície das amostras mas não penetrou significativamente nos poros das mesmas. Esses resultados foram confirmados pelos experimentos de intrusão de mercúrio.

4.3.3- Porosimetria de Mercúrio

Foram realizados experimentos de porosimetria de mercúrio nas amostras não impregnadas e impregnadas a vácuo por 10 minutos, na concentração de 1:5, utilizando 0,249 g e 0,331 g de amostra, respectivamente. O material sem impregnação apresentou uma porosidade próxima a 76%, enquanto o material impregnado apresentou uma porosidade próxima a 60%. Estes resultados também indicam que a impregnação promoveu a intrusão da solução de acetato de amido nos poros da amostra. Na figura 4.12 apresenta-se o gráfico do volume de mercúrio acumulado, por grama de amostra não impregnada *versus* o diâmetro dos poros das amostras, onde se observa o maior volume de mercúrio acumulado na amostra não impregnada.

O diâmetro médio dos poros foi de 0,37 e 0,18 μm , para as amostras não impregnada e impregnada, respectivamente, indicando uma impregnação preferencial nos poros maiores.

A área total dos poros foi a mesma para os dois casos, próxima a $22,5 \text{ m}^2/\text{g}$, como mostra a figura 4.13. Este resultado pode ser explicado pelo fato de os poros menores, que são os principais contribuintes para a área total dos poros, não terem sido impregnados.

As densidades das amostras, determinadas por porosimetria de mercúrio, foram de 362 e 585 kg/m^3 , respectivamente. Este resultado também mostra o efeito da impregnação com acetato de amido.

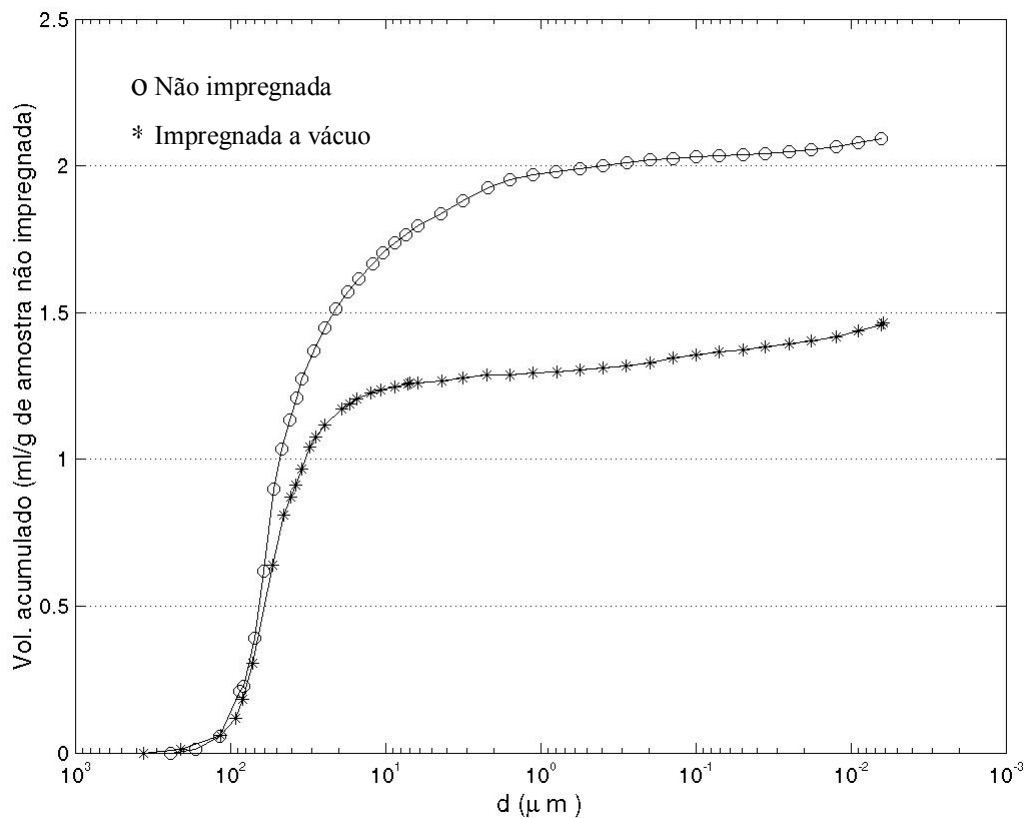


Figura 4.12- Volume de mercúrio acumulado por grama de material não impregnado \times diâmetro dos poros das amostras impregnada e não impregnada.

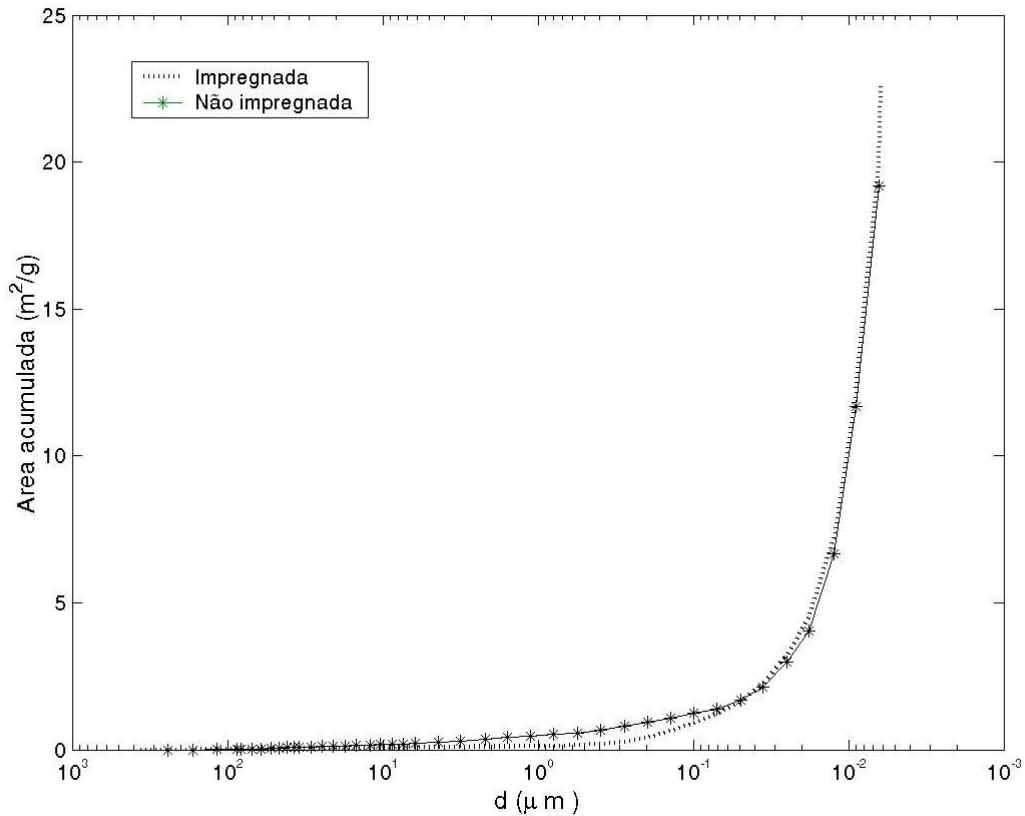


Figura 4.13- Gráfico da área \times diâmetro dos poros das amostras impregnada e não impregnada.

4.3.4- Ensaio de resistência à tração

Na tabela 4.4 apresentam-se os valores médios obtidos para os resultados de tensão máxima, alongamento máximo na ruptura e os respectivos coeficientes de variação, para os diferentes materiais preparados.

Tabela 4.4- Valores de tensão máxima, alongamento máximo na ruptura e coeficientes de variação para as amostras do compósito bagaço-papel Kraft.

Materiais	Valor médio da tensão máxima (MPa)	Valor do coeficiente de variação da tensão (%)	Valor médio do alongamento (%)	Valor do coeficiente de variação do alongamento (%)
A	4,07	12,30	3,88	9,40
B	4,34	11,30	3,94	12,60
C	4,00	17,50	3,61	7,60
D	3,29	14,70	4,25	8,50
E	3,25	9,00	4,36	6,60
F	3,61	11,50	4,24	10,30
G	3,99	14,50	3,35	6,20

(A= Não impregnado; B= 5min 1:10; C= vácuo, 5min 1:10; D= 10min 1:10; E= 5min 1:5; F= 10min, 1:5; G= vácuo 10min, 1:5).

As dispersões dos valores da tensão de ruptura foram na ordem de 9% a 17,5%. Para as deformações, os coeficientes de variação estiveram entre 6,2% e 12,6%. Todos os materiais estudados tiveram dispersões da mesma ordem, o que se deve às heterogeneidades dos mesmos.

Na figura 4.14, apresentam-se as curvas médias para cada material preparado, dos ensaios de tensão-deformação.

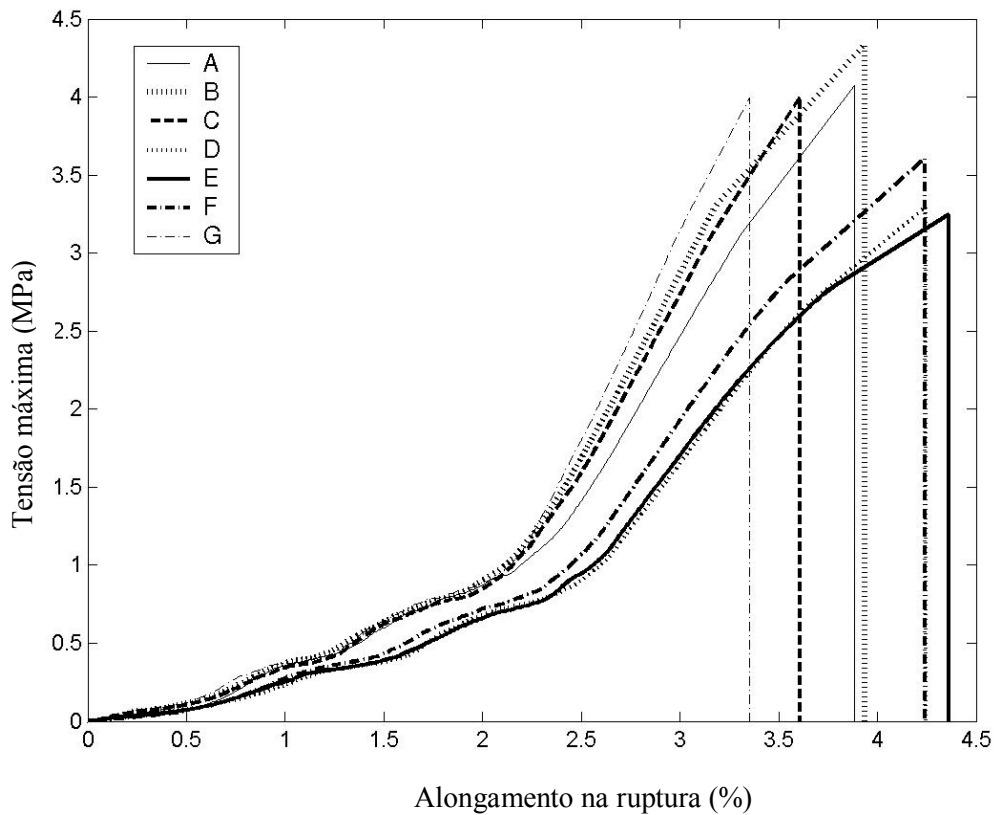


Figura 4.14- Influência da impregnação com acetato de amido nos ensaios de tensão e alongamento máximo, na ruptura (A= Não impregnado; B= 5min 1:10; C= vácuo, 5min 1:10; D= 10min 1:10; E= 5min 1:5; F= 10min, 1:5; G= vácuo 10min, 1:5).

O material impregnado B foi o que obteve a maior tensão na ruptura, 4,34 MPa, seguido do material A, não impregnado, com 4,07 MPa. Essa pequena diferença entre os resultados não é significativa, considerando os valores dos coeficientes de variação, mostrando que a impregnação com acetato de amido teve pouca influência sobre a resistência das amostras à tração. As redes de fissuras presentes nos filmes de acetato de amido que se formaram nas superfícies das amostras impediram um possível aumento da resistência à tração.

Para os materiais impregnados a vácuo, observou-se que esses sofreram as menores deformações, quando comparados aos demais. Os materiais impregnados por imersão em solução com acetato de amido à pressão atmosférica mostraram as maiores deformações na ruptura. A impregnação também teve pouca influência na capacidade de alongamento das amostras estudadas.

4.3.5- Ensaio de absorção de água

A impregnação das amostras com acetato de amido mostrou grande influência na diminuição da absorção de água das mesmas, como apresentado na figura 4.15. O material A, não impregnado, absorveu 4 vezes mais água quando comparado aos materiais F e G, os quais apresentaram as menores taxas de absorção. Como esses materiais ficaram imersos por 10min em acetato de amido solubilizado em clorofórmio, na concentração 1:5, pode-se sugerir que a taxa de absorção de água diminuiu com o aumento das variáveis tempo de contato e concentração de acetato de amido durante a impregnação. Comparando os materiais B,C e F,G conclui-se que os materiais impregnados à pressão atmosférica apresentaram resultados de absorção de água similares àqueles obtidos sob condições de vácuo.

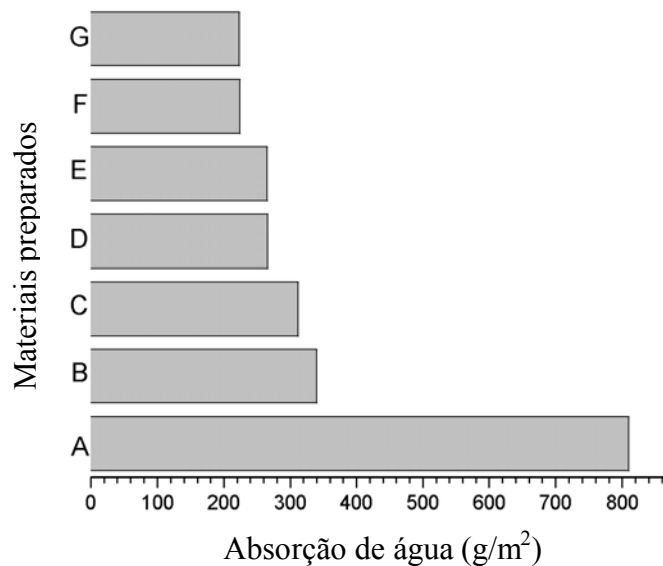


Figura 4.15- Absorção de água dos diferentes materiais preparados (A= Não impregnado; B= 5min 1:10; C= vácuo, 5min 1:10; D= 10min 1:10; E= 5min 1:5; F= 10min, 1:5; G= vácuo 10min, 1:5)

4.3.6- Isotermas de Sorção

Na figura 4.16 apresentam-se as curvas de equilíbrio de umidade a 35°C, para as amostras dos compósitos de bagaço-papel Kraft não impregnados e impregnados por 10 minutos, na concentração 1:5 e a pressão atmosférica.

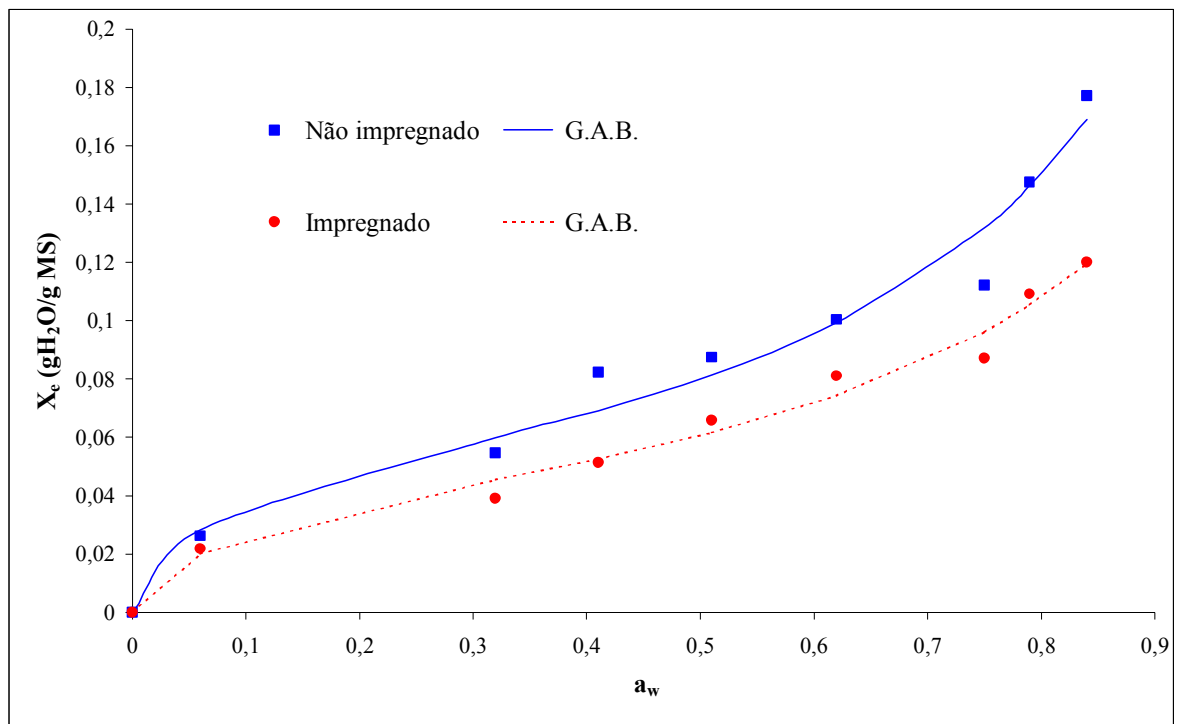


Figura 4.16- Umidade de equilíbrio em função da atividade de água (a_w), a 35°C, para os materiais analisados.

Para todas as atividades de água, a amostra impregnada apresentou uma diminuição da higroscopicidade quando comparada à amostra não impregnada.

Para as atividades de água acima de 0,3, a amostra não impregnada com acetato de amido atingiu uma umidade de equilíbrio 1,5 vezes maior que a amostra impregnada.

As isotermas de sorção de umidade do amido, do acetato de amido e do bagaço de mandioca, todos na forma de pó, também foram determinadas e são apresentadas na figura 4.17.

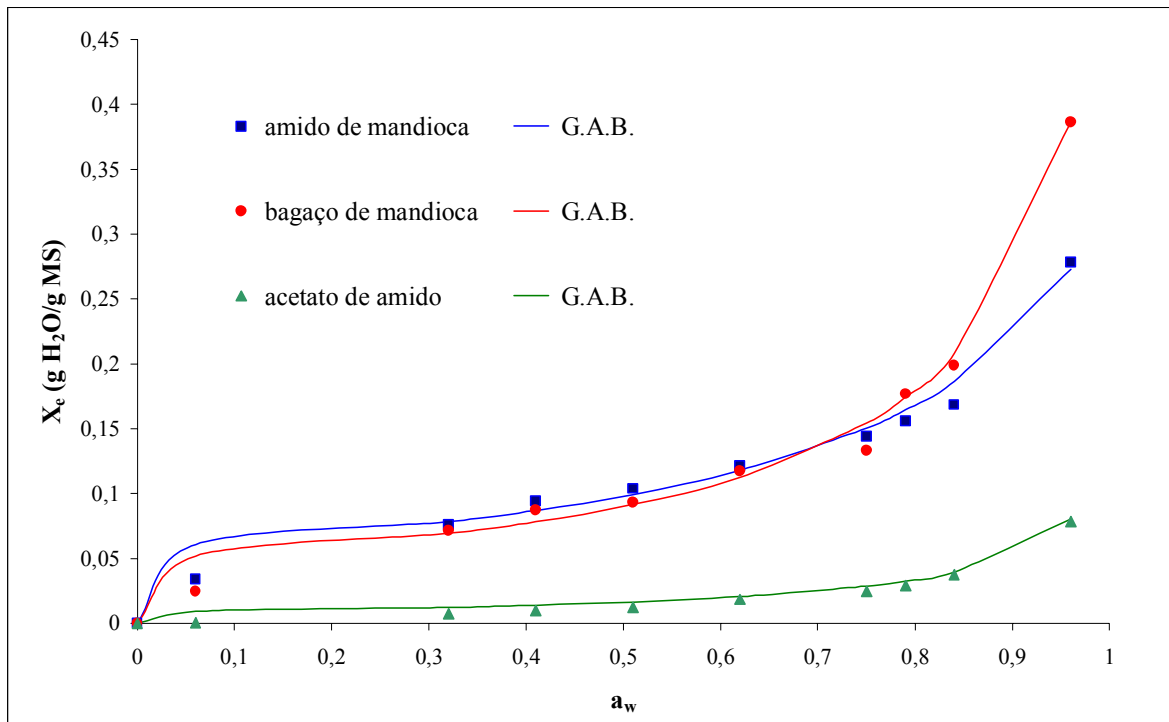


Figura 4.17- Umidade de equilíbrio em função da atividade de água (a_w), a 35°C, para o amido de mandioca, acetato de amido e bagaço de mandioca

O acetato de amido apresentou uma higroscopicidade nitidamente inferior aos demais materiais, para todas as atividades de água. Para a atividade de água de 0,98, o acetato de amido atingiu uma umidade de equilíbrio 3 vezes menor que o amido e 5 vezes menor que o bagaço de mandioca. Este resultado explica os resultados apresentados na figura 4.16, mostrando-se que a impregnação dos compósitos de bagaço-papel Kraft com acetato de amido foi a principal responsável pela redução da higroscopicidade desse material.

O modelo de GAB mostrou-se adequado para descrever os resultados experimentais, em todos os casos.

4.4- Aplicações das Bandejas de bagaço-papel Kraft

Como já foi mencionado, o compósito obtido a partir da mistura bagaço-papel Kraft possui características semelhantes às bandejas de polpa moldada. Por essa razão, a possibilidade de utilizar as bandejas de bagaço de mandioca-papel Kraft foi estudada.

Mercado para a polpa moldada

Vem crescendo consideravelmente a utilização de embalagens de polpa moldada em diversos segmentos da indústria, principalmente na fabricação de caixas de ovos e bandejas para frutas e legumes. Outra alternativa para o emprego da polpa moldada é no acondicionamento de peças de maior valor agregado, como componentes eletrônicos, cosméticos e embalagens para *fast food*. Diversos componentes eletrônicos como computadores, impressoras, entre outros, vêm sendo embalados em polpa moldada, pois essas peças são frágeis e precisam de boa acomodação. O mercado de cosméticos também oferece uma boa oportunidade para a utilização deste tipo de embalagem. Já se encontram com facilidade, em farmácias e drogarias, sabonetes embalados em bandejas de polpa moldada.

Bandejas para legumes e frutas são outra excelente opção. As vantagens mais marcantes da utilização deste tipo de embalagem são:

- maleabilidade do material, garantindo uma boa proteção do produto embalado;
- menor custo em relação a outros tipos de embalagens convencionais;
- redução do impacto ambiental causados pelos plásticos de origem petroquímica.

Na figura 4.18 apresentam-se fotografias das bandejas de bagaço-papel Kraft obtidas neste trabalho, empregadas no acondicionamento de frutas e legumes.



Figura 4.18- Acondicionamento de goiabas e pepinos em bandejas de bagaço-papel Kraft.

As bandejas de bagaço-papel Kraft produzidas possuem dimensões de $13,5 \times 13,5 \times 2,5$ cm, apresentam superfícies típicas de material de polpa moldada, coloração bege e pesam em torno de 20 g. Na figura 4.19 apresenta-se o empilhamento de bandejas acondicionando legumes.



Figura 4.19- Empilhamento de bandejas acondicionando legumes.

O peso suportado pela bandeja, no empilhamento, foi de 1140 g não tendo estas apresentado deformações ou rachaduras.

Uma estimativa de custo para a produção das bandejas de bagaço-papel Kraft foi realizada e encontra-se no Apêndice A. No Apêndice B apresenta-se um fluxograma mostrando as etapas para a obtenção das bandejas utilizando equipamentos adaptados.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES

Nos ensaios preliminares, a adição de cola e resina comerciais ao bagaço de mandioca mostrou uma influência muito pequena na diminuição da higroscopicidade dos compósitos obtidos, tornando estes menos resistente à tração. Conclui-se deste modo que esses aditivos não são uma boa alternativa para melhorar as propriedades mecânicas e de absorção de água dos materiais.

A adição de 10 ou 30% de fibras de mandioca ao bagaço formou compósitos pouco resistentes à tração, não se mostrando como uma alternativa interessante de utilização desse resíduo. Isso se deve ao fato dessas fibras serem pouco resistentes e pouco maleáveis. Estudos adicionais devem ser realizados para buscar o aproveitamento desse material, o qual está disponível em farinheiras.

A utilização de 10% de papel Kraft ao bagaço permitiu a formação de um compósito com características semelhantes à polpa moldada comercial. A impregnação do compósito bagaço-papel Kraft com acetato de amido apresentou pequena influência na resistência à tração dos materiais. Em compensação, a impregnação diminuiu a absorção de água pelas amostras em até quatro vezes, no melhor dos casos. Os materiais impregnados a pressão atmosférica obtiveram resultados de absorção de água próximos àqueles submetidos ao vácuo, mostrando que a impregnação depende de outras variáveis, como o tempo de imersão e a concentração de acetato de amido na solução impregnante. A impregnação do compósito bagaço-papel Kraft com acetato de amido mostrou ser uma alternativa interessante para a diminuição da higroscopicidade de materiais fibrosos.

A transformação do amido em acetato de amido adiciona valor a essa matéria-prima e pode representar um incentivo à produção de mandioca.

Este estudo demonstrou que o bagaço de mandioca adicionado de 10% de papel Kraft pode ser utilizado para a fabricação de polpa moldada, na confecção de bandejas, o que representa uma real alternativa para a sua utilização. As bandejas obtidas em laboratório foram resistentes o suficiente para permitir a utilização das mesmas para o acondicionamento de frutas e legumes.

Estudos complementares devem ser feitos para modificar as fibras das folhas e caules da mandioca, para que essas possam ser utilizadas como uma fonte de fibras longas na mistura com o bagaço de mandioca. Esta alternativa pode diminuir o custo do processo de produção de bandejas de bagaço de mandioca, pois esses materiais estão disponíveis sem custos adicionais e próximos das fecularias.

Espera-se que esse trabalho tenha contribuído para criar uma alternativa viável técnica e economicamente para a utilização do bagaço de mandioca. Espera-se também, ter colaborado para a geração de conhecimento sobre o aproveitamento desse resíduo, o qual é encontrado em todo o território nacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM ISO 535. **Papel e Cartão – Determinação da capacidade de absorção de água – Método de Cobb**, 1999.
- ALONSO, G. A.; ESCRIG, A. J.; CARRÓN, N. M.; BRAVO, L.; CALIXTO, F. S. Assessment of some parameters involved in the gelatinization and retrogradation of starch. **Food Chemistry**, Vol. 66, pp. 181-187, 1999.
- AMANTE, E. R. **Caracterização de amidos de Variedades de Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e de Batata doce (*Ipomoea batatas*)**. Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Viçosa, 109p., 1986.
- ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test method for tensile properties of paper and paperboard using constant-rate-of-elongation apparatus**, D828-97, 1997.
- AVÉROUS, L.; FRINGANT, C.; MORO, L. Plasticized starch-cellulose interactions in polysaccharide composites. **Polymer**, Vol. 42, pp. 6565-6572, 2001.
- BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução à química de alimentos**. 2. ed. Varela. São Paulo- SP, 1995.
- BULÉON, A.; COLONNA, P.; PLANCHOT, V.; BALL, S. Starch granules: structure and biosynthesis. **Biological Macromolecules**, Vol. 23, pp. 85-112, 1998.
- CABELLO, C.; LEONEL, M. Produção de ácido cítrico a partir da manipueira. **Resíduos da Industrialização da Mandioca no Brasil**. Paulicéia, São Paulo, pp. 109-119, 1994.
- CEREDA, M. P. **Resíduos da Industrialização da Mandioca no Brasil**. Paulicéia, São Paulo, pp. 11-13, 1994.

- CEREDA, M. P. Valorização de Resíduos como forma de reduzir custos de produção. In: **I Congresso Latino Americano de Raízes Tropicais, IX Congresso Brasileiro de Mandioca, Anais**, São Pedro – SP, pp. 25-43, 1996.
- CHANDRA, R.; RUSTGI, R. Biodegradable Polymers. **Prog. Polym. Sci.**, Vol. 23, pp. 1273-1335, 1998.
- CONCEIÇÃO, A. J. **A mandioca**. Nobel, São Paulo, 1983.
- COOKE, D.; GIDLEY, M. J. Loss of crystalline and molecular order during starch gelatinisation: origin of the enthalpic transition. **Carbohydrate Research**, Vol. 227, pp. 103-112, 1992.
- CORRADINI, E.; LOTTI, C. L.; JOB, A. E.; CARVALHO, A. J. F.; CURVELO, A. A. S.; MATTOSO, L. H. C. Propriedades térmicas e cristalinidade de amido de milho e de mandioca. **Anais do 6º Congresso Brasileiro de Polímeros**. Gramado, RS, pp. 1520-1523, 2001.
- CURTO, R. C. S. **Estudo comparativo entre duas cepas de saccharomyces cerevisiae CCT 1530 e CCT 1531 para a produção de proteínas unicelulares a partir de hidrolisado de amido de mandioca**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 133p, 1998.
- CURVELO, A. A. S.; CARVALHO, A. J. F.; AGNELLI, J. A. M. Thermoplastic starch-cellulosic fibers composites: preliminary results. **Carbohydrate Polymers**, Vol. 45, pp. 183-188, 2001.
- DA RÔZ, A. L.; CARVALHO, A. J. F.; MORAIS, L. C.; CURVELO, A. A. S. Comportamento térmico e de absorção de umidade de amidos plastificados com glicóis. **Anais do 6º Congresso Brasileiro de Polímeros**. Gramado, RS, pp. 1544-1547, 2001.
- DUFRESNE, A.; VIGNON, M. R. Improvement of Starch Film Performances Using Cellulose Microfibrils. **Macromolecules**, Vol. 31, pp. 2693-2696, 1998.

- EICHLER, S.; RAMON, O.; LADYZHINSKI, I.; COHEN, Y.; MIZRAHI, S. Collapse processes in shrinkage of hydrophilic gels during dehydration. **Food Research International**, Vol. 30, pp. 719-726, 1997.
- El – DASH, A. A. Utilização da mandioca na alimentação humana e em outros produtos industrializados. **Informe Agropecuário**, Vol. 13, n 145, pp. 74-82, 1987.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Mandioca e seus subprodutos na alimentação de aves e suínos. Helenice Mazzuco & Teresinha Marisa Bertol. **Embrapa Aves e Suínos**, Concórdia – SC, 2000.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Disponível em: <<http://www.cnpmf.embrapa.br/mandioca.htm>> acesso em 09/09/2002.
- FEIL, H. Biodegradable plastics from vegetable raw materials. **Agro-Food-Industry Hi Tech**, Julho /Agosto, 1995.
- FEUER, B. L. Method of making starch acetate using an acid catalyst. **USA Patent n° 5.710.269**, 1998.
- FIORETTO, R. A. Uso direto da manípueira em fertirrigação. **Resíduos da Industrialização da Mandioca no Brasil**. Paulicéia, São Paulo, pp. 51-80, 1994.
- FRINGRANT, C.; DESBRIÈRES, J.; RINAUDO, M. Physical properties of acetylated starch-based materials: relation with their molecular characteristics. **Polymer**, Vol. 37, n 13, pp. 2663-2673, 1996.
- FRINGRANT, C.; RINAUDO, M.; FORAY, M. F.; BARDET, M. Preparation of mixed esters of starch or use of an external plasticizer: two different ways to change the properties of starch acetate films. **Carbohydrate Polymers**, Vol. 35, pp. 97-106, 1998.
- GONTARD, N.; GUILBERT, S. Bio-Packaging: Technology and properties of edible and/or biodegradable material of agricultural origin. **Boletim SBCTA**, Vol. 30, n.1, pp. 3-15, jan/jun, 1996.

- GOYANO, J. A. versatilidade da mandioca. **Scientific American Brasil**, nº 4, pp. 49-53, 2002.
- GRAAF, R. A.; BROEKROELOFS, G. A.; JANSSEN, L. P. B. M.; BEENACKERS, A. A. C. M. The kinetics of the acetylation of gelatinised potato starch. **Carbohydrate Polymers**, Vol. 28, pp. 137-144, 1995.
- HELMUTH, K. B.; SHOLZ, W. **Aspectos industriais da mandioca no nordeste**. Banco do Nordeste do Brasil S/A, Fortaleza – CE, 1971.
- HULLEMAN, S. H. D.; KALISVAART, M. G.; JANSSEN, F. H. P.; FEIL, H.; Vliegenthart, J. F. G. Origins of B-type crystallinity in glycerol-plasticised, compression-moulded potato starches. **Carbohydrate Polymers**, Vol. 39, pp. 351-360, 1999.
- IGLESIAS, H.A.; CHIRIFE, J. An alternative to the Guggenheim, Anderson and De Boer model for the mathematical description of moisture sorption isotherms of foods. *Food Research International*, Vol. 28, n. 3, pp. 317-321, 1995.
- ISMAIL, K. A. R. **Técnicas de Medidas e Instrumentação em Engenharia**. Apostila: UNICAMP (Faculdade de Engenharia de Campinas). Universidade Estadual de Campinas, 130p., 1986.
- JOSEPH, K.; MATTOSO, L. H. C.; TOLEDO, R. D.; THOMAS, S.; CARVALHO, L. H.; POTHEN, L.; KALA, S.; JAMES, B. Natural Fiber Reinforced Thermoplastic Composites. **Natural Polymers and Agrofibers Composites**. pp. 159-201, São Carlos–SP, 2000.
- LAROTONDA, F. D. S. **Desenvolvimento de biofilmes a partir da fécula de mandioca**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 63p, 2002.

- LEITE, P. J. F.; LIMA, A. A. G.; NASCIMENTO, F. R. Poliestireno Biodegradável para Embalagens Descartáveis: Desenvolvimento de Blenda pela Incorporação de Amido de Mandioca. **TECBAHIA, Revista Baiana de Tecnologia** Vol. 14, n 1, pp. 126-130, Camaçari-BA, 1999.
- LEONEL, M.; JACKEY, S.; CEREDA, M. P. Processamento Industrial de Fécula de mandioca e batata doce – Um estudo de caso. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Vol. 18, n. 3, Campinas-SP, 1998.
- LEONEL, M.; CEREDA, M. P.; ROAU, X. - Aproveitamento de resíduo da produção de etanol a partir de farelo de mandioca, como fonte de fibras dietéticas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Vol. 19, n. 2, Campinas-SP, 1999.
- LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Extração da fécula retida no resíduo fibroso do processo de produção de fécula de mandioca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Vol 20, n. 1, Campinas– SP, 2000.
- LEPENIOTIS, S; FEUER. B. I. Synthesis of starch acetate: statistical designed experiments to optimize the reaction conditions. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, Vol. 36, pp. 229-243, 1997.
- LEWIS, M. J. **Propriedades De Los Alimentos Y De Los Sistemas De Procesado**. Ed. Acribia, Zaragoza, 1993
- LIMA, J. W. C. **Análise ambiental: Processo produtivo de polvilho em indústrias do extremo sul de Santa Catarina**. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, 149 p, 2001.
- LÖRCKS, J. Properties and applications of compostable starch-based plastic material. **Polymer Degradation and Stability**, Vol. 59, pp. 245-249, 1998.
- MELO, B. N.; PASA, V. M. D. Compósitos de poliuretano de piche vegetal / óleo de mamona e fibras curtas de sisal. **Anais do 6º Congresso Brasileiro de Polímeros**, Gramado, RS, pp. 574-577, 2001.

- MILADINOV, V. D.; HANNA, M. A. Physical and molecular properties of starch acetates extruded with water and ethanol. **Ind. Eng. Chem. Res.**, Vol. 38, pp. 3892-3897, 1999.
- MILADINOV, V. D.; HANNA, M. A. Temperatures and ethanol effects on the properties of extruded modified starch. **Industrial Crops and Products**, Vol. 13, pp. 21-28, 2001.
- MOORE, G. R. P. **Amido de milho e mandioca na produção de Maltodextrinas**. Dissertação de Mestrado em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, 85 p., 2001.
- MOREIRA, R.; VÁSQUEZ, G.; CHENLO, F. Influence of the Temperature on Sorption Isotherms of Chickpea: Evaluation of Isothermic Heat of Sorption. **Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry**, 2000.
- MORIKAWA, K.; NISHINARI, K. Rheological and DSC studies of gelatinization of chemically modified starch heated at various temperatures. **Carbohydrate Polymers**, Vol. 43, pp. 241-247, 2000.
- MURRAY, J. D. Acetylation process and product. **USA Patent nº 2.376.378**, 1945.
- NARAYAN, R.; BLOEMBERGEN, S.; LATHIA, A. Method of preparing biodegradable modified-starch moldable products and films. **USA Patent nº 5.869.647**, 1999.
- NAYAK, P. L. Biodegradable polymers: opportunities and challenges. **J.M.S. – Rev. Macromol. Chem. Phys.**, C39 (3), pp. 481-505, 1999.
- PALMISANO, A. C.; PETTIGREW, C. A. Plastics – Environmental aspects. **Bioscience**, Vol. 42, n. 9, pp. 680-686, 1992.
- PANDEY, A.; SOCCOL, C. R.; NIGAM, P.; SOCCOL, V. T.; VANDENBERGHE, L. P. S.; MOHAN, R. Biotechnological potencial of agro-industrial residue II: cassava bagasse. **Bioresource Technology**, Vol. 74, pp. 81-87, 2000.

- PARKER, R.; RING, S. G. Aspects of the Physical Chemistry of Starch. **Journal of Cereal Science**, Vol. 34, pp. 1 – 17, 2001.
- PONTE, J. J. Uso da manipueira como defensivo agrícola. **Resíduos da Industrialização da Mandioca no Brasil**. Paulicéia, São Paulo, pp. 81-99, 1994.
- RAUPP, D. S.; MOREIRA, S. S.; BANZATTO, D. A.; SGARBIERI, V. C. Composição e propriedades fisiológico-nutritivas de uma farinha obtida rica em fibra insolúvel do resíduo fibroso de fecularia de mandioca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Vol. 19, n. 2, Campinas,SP, 1999.
- ROCKLAND, L.B. Saturated salt solutions for static control of relative humidity between 5°C and 40°C. **Analytical Chemistry**, Vol. 32,no. 10, pp.1375-1376, 1960.
- ROESSER, D. S.; NEVLING, J.; RAWLINS, D. C.; BILLMERS, R. L. Biodegradable expanded starch products and the method of preparation. **USA Patent nº 6.107.371**, 2000.
- ROSA, D. S.; FRANCO, L. M.; CALIL, M. R. Biodegradabilidade e propriedades mecânicas de novas misturas poliméricas. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, Vol. 11, n. 2, pp. 82-88, 2001.
- SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DE MANDIOCA DO PARANÁ. Disponível em: www.rondonet.com.br/~mandioca. Acesso em: 08/10/2001.
- SRIROTH, K.; CHOLLAKUP, R.; CHOTINEERANAT, S.; PIYACHOMKWAN, K.; OATES, C. G. Processing of cassava waste for improved biomass utilization. **Bioresource Technology**, Vol. 71, pp. 63-69, 2000.
- SOBRAL, P. J. A. Influência da espessura de biofilmes feitos à base de proteínas miofibrilares sobre suas propriedades funcionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Vol. 35, n. 6, pp. 1251 – 1259, 2000.
- SOUZA, R. C. R.; ANDRADE, C. T. Investigação dos processos de gelatinização e extrusão de amido de milho. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, Vol. 10, n. 1, pp. 24-30, 2000.

SOTERO, A. P. Plásticos Biodegradáveis trazem melhoria ambiental. Disponível em: <<http://www.uniemp.br/labjor/newsagosto2000htm>. Acesso em 23/03/2001.

SPINACÈ, M. A. S.; ALLGANER, K.; BASTOS, F. A.; PEDROSO, A. G.; DE PAOLI, M. A. Efeito do teor e tratamento superficial de fibra curauá sobre as propriedades mecânicas de compósitos com polipropileno reciclado. **Anais do 6º Congresso Brasileiro de Polímeros**, Gramado, RS, pp. 594-597, 2001.

TAKAHASHI, M. Aproveitamento da manipueira e de resíduos do processamento da mandioca. **Informe Agropecuário**, Vol. 13, n.145, pp. 83-87, 1987.

TELES, F. F. Técnicas de liberação do HCN e toxidez cianogênica das mandiocas. **Informe Agropecuário**, Vol. 13, n.145, pp. 18-22, 1987.

TITA, S. P. S.; PAIVA, J. M. F.; FROLLINI, E. Resistência ao impacto de compósitos lignocelulósicos: matrizes termofixas fenólicas reforçadas com fibras de bagaço de cana de açúcar. **Anais do 6º Congresso Brasileiro de Polímeros**, Gramado, RS, pp. 685-688, 2001.

TOMKA, I. Thermoplastic processable starch or starch derivative polymer mixtures. **USA Patent n° 6.117.925**, 2000.

TREADWAY, R. H. Process for preparing starch acetate. **USA Patent n°2.399.455**, 1946.

VANZIN, V.; FERREIRA, D. T. L.; BACK, C. Aproveitamento da massa residual obtida na extração de fécula de mandioca para elaboração de biscoitos com alto teor de fibras (2). **Anais do I Encontro Nacional de Difusão Tecnológica**, pp.162-163, 2002.

VILELA, E. R.; FERREIRA, M. E. Tecnologia de produção e utilização do amido de mandioca. **Informe Agropecuário**, Vol. 13, n.145, pp. 69-74, 1987.

WHISTLER R. L.; BEMILLER, J. N.; PASCHALL, E. F. **Starch, Chemistry and Technology**, 2ed, pp. 469-475; 575-591, 1984.

WOLLERDORFER, M.; BADER, H. Influence of natural fibres on the mechanical properties of biodegradable polymers. **Industrial Crops and Products**, Vol. 8, pp. 105-112, 1998.

WURZBURG, O. B. "Acetylation", in: **Methods in Carbohydrate Chemistry**, editor R.L. Whistler, Vol. 4., 1964.

APÊNDICE - A

Estimativa de custo para a produção de bandejas de bagaço-papel Kraft

Foi feita uma avaliação sucinta do custo das matérias-primas empregadas na fabricação das bandejas, assim como dos equipamentos utilizados. A substituição dos equipamentos convencionais por outros de menor custo foi apresentada com o objetivo de mostrar que a fabricação dessas embalagens pode ser realizada em pequena escala, podendo ser uma alternativa para famílias que vivem da agricultura e que disponham do bagaço de mandioca, devido à proximidade de uma fecularia, por exemplo.

Na tabela 1, apresentam-se as matérias-primas necessárias, a quantidade e o custo para a fabricação de 20.000 bandejas por mês.

Tabela A1- Matérias-primas, quantidade e custo.

<i>Matéria-prima de consumo</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Custo (R\$)</i>
Bagaço de mandioca	360 kg	-
Papel Kraft	40 kg	80,00
Água para a produção de bandejas	3,22 m ³	4,00
Água para o sistema de vácuo	5 m ³	6,20

Na tabela A2 apresentam-se os equipamentos necessários para a produção das bandejas e os equipamentos que podem ser adaptados para esse fim, visando diminuir o custo com a aquisição dos equipamentos.

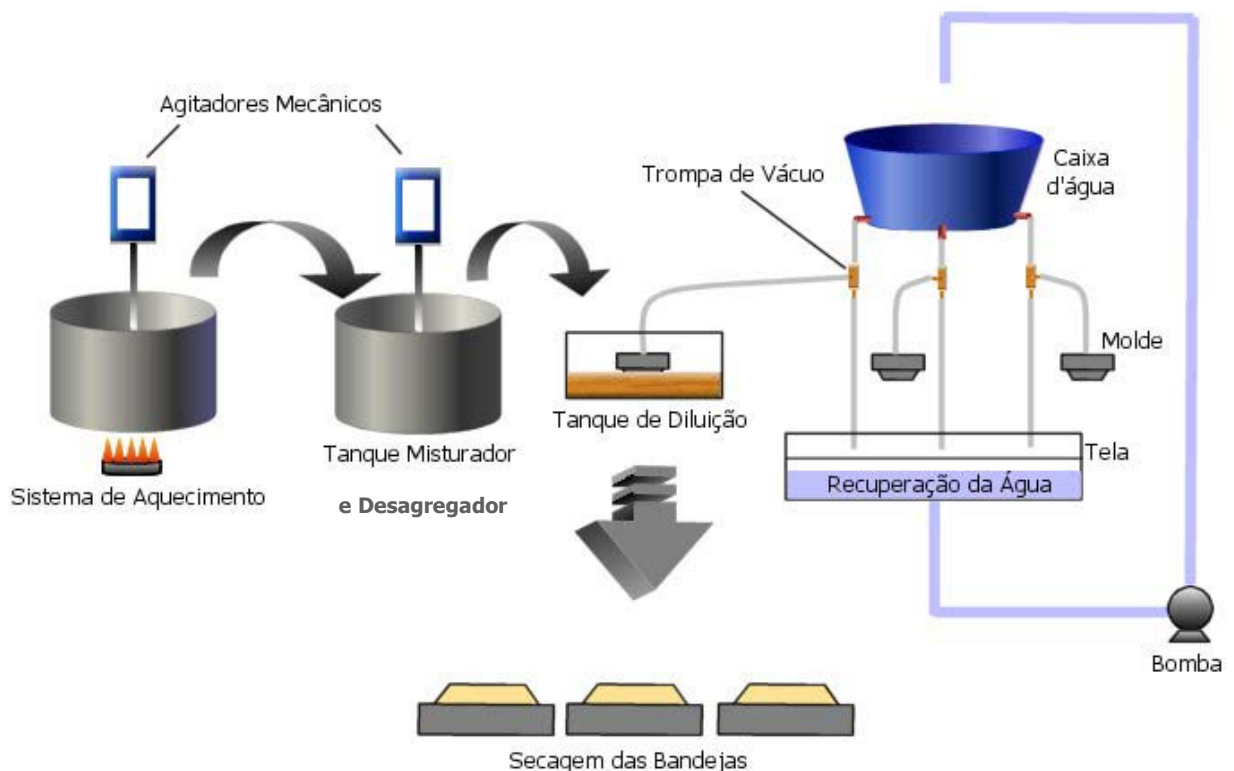
Tabela A2- Equipamentos convencionais, adaptados e custo dos equipamentos adaptados.

<i>Equipamentos</i>	<i>Equipamentos Adaptados</i>	<i>Custo dos equipamentos adaptados (R\$)</i>
Sistema de aquecimento para a gelatinização do amido no bagaço	Fogão à lenha	225,00
Agitador	Agitador mecânico	1000,00
Desagregador das fibras	Liquidificador industrial (25 L)	478,00
Tanque misturador	Panela de 30 L	30,00
Tanque de diluição	Recipiente de 80 L	-
Sistema de vácuo	Trompas de vácuo Bomba de água Caixa d'água (3 m ³)	480,00 200,00 640,00
Sistema de secagem	Solar	-
Moldes de forma (quantidade: 8)	Moldes de forma (quantidade: 8)	1200,00
	Energia consumida pelos equipamentos	75,00

Estima-se o tempo de 5 minutos para a moldagem da polpa. Assim, em 1 hora fabrica-se 96 bandejas. Para a obtenção de 20.000 bandejas por mês deve-se produzir 770 bandejas por dia, que equivale a uma jornada de trabalho de 8 horas / dia.

APÊNDICE – B

Fluxograma mostrando as etapas para a obtenção das bandejas de bagaço-papel Kraft, em pequena escala.



Fluxograma mostrando as etapas para a obtenção das bandejas de bagaço-papel Kraft.

Inicialmente, o bagaço deve ser aquecido para ocorrer a gelatinização do amido, como descrito no item 3.1.1.2. Na etapa seguinte, o bagaço é conduzido para um tanque desagregador de fibras e misturado ao papel Kraft. A polpa preparada segue para um recipiente onde será adicionada água para formar uma suspensão mais fina. Os moldes, conectados em trompas de vácuo, são imersos no recipiente com a polpa. Com a aplicação do vácuo, a polpa fica aderida ao molde, tomando sua forma. A secagem pode ser realizada por energia solar.

O custo estimado para a produção de uma bandeja é de 0,02 centavos. Considerando que o valor comercial de uma bandeja de poliestireno expandido com as mesmas dimensões da bandeja de bagaço-papel Kraft é de 0,05 centavos, o preço sugerido para a produção das bandejas de bagaço-papel Kraft é de 0,07 centavos, para se obter uma renda mensal de 1000 reais.