**EFEITO DA INTERAÇÃO ENTRE FIBRAS VIRGENS E
RECICLADAS NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE CARTÕES
MULTIFOLHADOS.**

FERNANDO LUIZ NEVES

Engenheiro Químico

Orientador : Prof. Dr. **JOSÉ MANGOLINI NEVES**

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade
de São Paulo, para obtenção do título de Mestre
em Ciências, Área de Concentração: Ciência e
Tecnologia de Madeiras.

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo – Brasil

Fevereiro –2000

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP

Neves, Fernando Luiz

Efeito da interação entre fibras virgens e recicladas nas características físicas de cartões multifolhados / Fernando Luiz Neves. -- Piracicaba, 2000.
73 p. : il.

Dissertação (mestrado) -- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2000.
Bibliografia.

1. Celulose Kraft de eucalipto 2. Embalagem de papel 3. Fibra de madeira 4. Impacto ambiental 5. Papel-cartão 6. Propriedade física 7. Reciclagem 8. Tecnologia de celulose e papel I. Título

CDD 676.32

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Aos meus pais Waldyr e Ilda
e à minha esposa Quele.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus que dá o dom da vida e do entendimento e às pessoas e empresas abaixo listados:

Agradeço ao Prof. Dr. José Mangolini Neves , pelo apoio e orientação ao presente trabalho.

Pela contribuição oferecida durante a realização dos trabalhos referentes a esta dissertação agradeço:

Ao prof. Dr. Mário Tomazello Filho

Ao Prof. Dr. José Otávio Brito

Aos técnicos e amigos do IPT

Aos Técnicos e amigos da Esalq

À Capes

À Tetra Pak Ltda.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO	xiii
SUMMARY	xiv
1.0 INTRODUÇÃO	01
2.0 OBJETIVO DA PESQUISA	02
3.0 REVISÃO DE LITERATURA	03
3.1 Definições	03
3.2 Panorama mundial do mercado de embalagens.....	05
3.3 Características dos cartões para embalagens.....	07
3.3.1 Propriedades ópticas.....	07
3.3.2 Propriedades mecânicas.....	08
3.3.3 Desempenho gráfico.....	12
3.4 Efeitos da reciclagem nas características do papel.....	12
3.4.1 A ligação fibra-fibra.....	12
3.4.2 Efeito de aditivos na ligação entre fibras.....	17
3.4.3 Efeito do processo de fabricação na resistência mecânica.....	18
3.5 Reciclagem da embalagem cartonada tipo longa vida.....	19
4.0 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
4.1 Material.....	25
4.2 Métodos.....	25
4.2.1 Desagregação.....	25
4.2.2 Refinação.....	26
4.2.3 Fabricação dos cartões duplex.....	27
4.2.4 Ensaio físicos e medição dos comprimentos de fibras.....	27

	Página
4.2.5 Delineamento estatístico.....	28
5.0 RESULTADOS.....	29
6.0 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	45
6.1 Volume específico aparente, espessura e rigidez.....	45
6.2 Índice de tração e arrebentamento.....	46
6.3 Alongamento.....	49
6.4 Índice de rasgo.....	50
6.5 Resistência às dobras duplas.....	51
6.6 Permeância ao ar.....	52
6.7 Resistência à delaminação.....	54
6.8 Comprimento de fibras, traqueídeos e fragmentos.....	55
6.9 Comparativo entre cartões do mercado brasileiro e amostras confeccionadas Em laboratório.....	56
7.0 CONCLUSÃO.....	63
ANEXO I.....	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71

LISTA DE FIGURAS

	Página
01 Hidrapulper antes da desagregação de embalagens cartonadas.....	20
02 Hidrapulper após a desagregação de embalagens cartonadas.....	21
03 Peneira cilíndrica despressurizada usada na limpeza do polietileno com alumínio após descarga do hidrapulper.....	22
04 Engrossador para pasta após depuração.....	22
05 Fardos de polietileno com alumínio obtidos no rejeito da peneira cilíndrica despressurizada.....	23
06 Extrusão do polietileno com alumínio.....	24
07 Injeção do polietileno com alumínio.....	24
08 Peças injetadas com polietileno/alumínio.....	25
09 Índice de tração versus número de ciclos.....	47
10 Índice de arrebentamento versus número de ciclos.....	47
11 Alongamento versus número de ciclos.....	50
12 Índice de rasgo versus número de ciclos.....	51

	Página
13 Resistência às dobras duplas versus número de ciclos.....	52
14 Permeância ao ar versus número de ciclos.....	53
15 Resistência à delaminação versus número de ciclos.....	54
16 Comprimentos de fibras e traqueídeos.....	55
17 Volume específico aparente de cartões do mercado brasileiro e fabricados em laboratório	56
18 Dobras duplas de cartões do mercado brasileiro e fabricados em laboratório.....	57
19 Alongamento de cartões do mercado brasileiro e fabricados em laboratório.....	59
20 Índice de tração de cartões do mercado brasileiro e fabricados em laboratório.....	59
21 Índice de rasgo de cartões do mercado brasileiro e fabricados em laboratório.....	60
22 Índice de arrebentamento de cartões no mercado brasileiro e fabricados em laboratório.....	61

Página

23	Resistência à delaminação de cartões do mercado brasileiro e fabricados em laboratório.....	62
24	Rigidez taber de cartões do mercado brasileiro e fabricados em laboratório.....	63

LISTA DE TABELAS

	Página
01 Volume específico aparente em função do número de ciclos.....	29
02 Índice de tração em função do número de ciclos.....	30
03 Alongamento em função do número de ciclos.....	30
04 Índice de arrebentamento em função do número de ciclos.....	31
05 Índice de rasgo em função do número de ciclos.....	31
06 Rigidez Taber em função do número de ciclos.....	32
07 Dobras duplas em função do número de ciclos.....	32
08 Resistência à delaminação em função do número de ciclos.....	33
09 Permeância ao ar Gurley em função do número de ciclos.....	33
10 Espessura em função do número de ciclos.....	34
11 Gramaturas e umidades dos cartões em cada ciclo.....	34
12 Comprimentos de fibras das amostras 1AB,1AP e 5AP em mm.....	35

	Página
13 Comprimento dos traqueídeos da amostra 1AP em mm.....	35
14 Comprimento dos traqueídeos da amostra 5 AP em mm.....	36
15 Anova aplicada ao volume específico aparente.....	37
16 Teste Tukey aplicado ao volume específico aparente.....	37
17 Anova aplicada ao índice de tração.....	37
18 Teste Tukey aplicado ao índice de tração.....	38
19 Anova aplicada ao alongamento.....	38
20 Teste Tukey aplicado ao alongamento.....	38
21 Anova aplicada ao índice de arrebentamento.....	39
22 Teste Tukey aplicado ao índice de arrebentamento.....	39
23 Anova aplicada ao índice de rasgo.....	39
24 Teste Tukey aplicado ao índice de rasgo.....	40
25 Anova aplicada à rigidez Taber.....	40
26 Teste Tukey aplicado à rigidez Taber.....	40

	Página
27 Anova aplicada à resistência às dobras duplas.....	41
28 Teste Tukey aplicado à resistência às dobras duplas.....	41
29 Anova aplicada à Resistência à delaminação.....	41
30 Teste Tukey aplicado à resistência à delaminação.....	42
31 Anova aplicada à permeância ao ar.....	42
32 Teste Tukey aplicado à permeância ao ar.....	42
33 Anova aplicada à espessura.....	43
34 Teste Tukey aplicado à espessura.....	43
35 Anova aplicada aos comprimentos de fibras e fragmentos. Amostras 1AP,1AB e 5AP.....	43
36 Teste Tukey aplicado aos comprimentos de fibras e fragmentos. Amostras 1AP,1AB e 5AP.....	44
37 Anova aplicada aos comprimentos de traqueídeos e fragmentos. Amostras 1AP e 5 AP.....	44
38 Teste Tukey aplicado aos comprimentos de traqueídeos e fragmentos Amostras 1AP e 5 AP.....	44

	Página
39 Índice de arrebentamento de cartões do mercado brasileiro.....	67
40 Índice de tração de cartões do mercado brasileiro.....	68
41 Número de dobras duplas de cartões do mercado brasileiro.....	68
42 Índice de rasgo de cartões do mercado brasileiro.....	68
43 Rigidez Taber de cartões do mercado brasileiro.....	69
44 Alongamento de cartões do mercado brasileiro.....	69
45 Permeância ao ar, volume específico aparente, espessura e resistência à delaminação de cartões do mercado brasileiro.....	69
46 Gramatura na base úmida, gramatura na base seca e umidade de mercado brasileiro.....	70

INTERAÇÃO ENTRE FIBRAS VIRGENS E RECICLADAS NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE CARTÕES MULTIFOLHADOS

Autor : FERNANDO LUIZ NEVES

Orientador : Prof. Dr. JOSÉ MANGOLINI NEVES

RESUMO

As indústrias de cartões normalmente utilizam fibras recicladas nas camadas internas de cartões multifolhados para reduzir custos, ou obter características particulares como, por exemplo, melhorar o volume específico aparente e as resistências mecânicas; porém, fibras recicladas podem alterar as propriedades dos cartões e poucos estudos têm sido feitos para avaliar estes efeitos nas suas características. Este trabalho estuda cartões formados por duas camadas, sendo a externa denominada capa e a interna verso. A capa foi constituída de polpa kraft de eucalipto branqueada e virgem. O verso foi constituído de polpa não branqueada obtida a partir da reciclagem de embalagens cartonadas tipo longa vida que são compostas por 75 % de papel (pasta kraft de Pinus), 20 % de polietileno de baixa densidade e 5 % de alumínio. Após cada reciclo, o cartão foi totalmente desagregado e passou a compor a camada do verso nas etapas subseqüentes até cinco vezes. Foram analisadas em cada ciclo os índices de tração, rasgo e arrebentamento, o alongamento, a rigidez Taber e as resistências à dobras duplas e à delaminação, o volume específico aparente e a permeância ao ar sendo estas características comparadas com as de cartões obtidos no mercado brasileiro. Os resultados obtidos permitiram concluir que cartões contendo fibras obtidas a partir de aparas de embalagens do tipo longa vida têm suas características de resistência à tração, arrebentamento, rasgo e delaminação aumentadas, se comparadas a cartões para embalagens existentes no mercado brasileiro.

INTERACTION OF VIRGIN FIBERS TO SECONDARY ONES IN THE PHYSICAL PROPERTIES OF MULTILAYERS CARTONS.

Author : FERNANDO LUIZ NEVES

Adviser : Prof. Dr. JOSÉ MANGOLINI NEVES

SUMMARY

The cartonboard industries usually use recycled fibers in the middle layers of multiply cartons to reduce costs or to improve particular properties as bulk and mechanical resistance, but recycled fibers may change the cartons properties and few studies have been done to analyze these effects on cartonboard characteristics. This work studies cartonboards composed of virgin eucalyptus bleached kraft pulp at the top layer and, on the bottom, brown fibers from liquid carton packages recycling that is comprised of 75% paper (Pines kraft pulp), 20 % low density polyethylene and 5 % aluminum. After each cycle, the cartonboard was completely repulped and entered in the brown layer composition of a new one. The cycle was repeated five times, and in each one it was analyzed the tensile, tear and burst index, Taber stiffness, plybond, double folding, air flow resistance and bulk. All the properties were compared to industrial cartonboards obtained in the Brazilian market. The results show that using liquid carton packages fibers in cartonboards composition, there is an increase in tear, tensile, burst and plybond resistance if compared to other cartonboards for packages in Brazilian market.

1.0 INTRODUÇÃO

A utilização de fibras secundárias na fabricação de cartões para embalagens não é novidade no Brasil, entretanto o seu uso durante muito tempo foi explorado em função de ser esta matéria-prima de baixo custo. A crescente preocupação ambiental tem provocado maiores interesses na utilização deste tipo de matéria-prima para fabricação de diversos tipos de papéis e cartões.

O impacto ambiental tem sido motivo de preocupação de autoridades mundiais, o que tem promovido políticas de incentivo às coletas seletivas e, em função desta preocupação, o uso de produtos reciclados tem crescido afetando diretamente o mercado papelero. Se por um lado há exigências de mercado ou busca de menores custos com o uso de fibras secundárias, não se pode deixar de analisar as perdas de propriedades destas à medida que são recicladas várias vezes, o que deixa claro que a pasta virgem tem grande importância no mercado de papel.

Uma tendência que se observa é o aumento crescente do uso de embalagens cartonadas principalmente no mercado de bebidas pasteurizadas e ultrapasteurizadas (longa vida). Estas embalagens são fabricadas com pastas virgens, de alta qualidade, o que as torna interessantes do ponto de vista de recuperação de fibra, já que as aparas provenientes destas embalagens apresentam poucas variações em suas características, indo portanto refletir nas características finais do papel ou cartão que com elas forem preparados. Assim, as empresas que se adaptarem para sua utilização poderão ter vantagens competitivas em um mercado que busca cada vez mais o uso de aparas sem perda de qualidade.

Em vista do que foi explanado, pretende-se neste trabalho estudar os efeitos da reciclagem sobre a matéria-prima fibrosa proveniente de embalagens cartonadas pós-consumo, quando são usadas junto com fibras virgens de eucalipto. Isto implica em se verificar seus efeitos nas características mecânicas do papel usado na fabricação de embalagens cartonadas em geral. A análise destes efeitos será feita de forma a atender as necessidades do mercado para este tipo de produto e ainda avaliar os

efeitos da inserção de fibras branqueadas virgens de eucalipto a cada ciclo de desagregação e formação de um novo cartão.

2.0 OBJETIVO DA PESQUISA.

O objetivo global deste trabalho é estudar em laboratório os efeitos da reciclagem nas características mecânicas de cartões duplex produzidos a partir de pasta celulósica kraft branqueada de eucalipto colocada na camada superior chamada de capa e pasta proveniente da reciclagem de embalagens cartonadas tipo longa vida na camada inferior denominada verso. Abaixo segue descrita a linha de trabalho desenvolvida:

Efetuar ciclos de reciclagem com embalagens cartonadas, os quais serão repetidos até cinco vezes, sem se efetuar a recirculação de água servida no formador de folhas manuais, procurando assim não incorporar a fração de finos às pastas.

A cada reciclo, será inserida a pasta celulósica branqueada virgem na camada superior, branca, e fibras secundárias geradas a cada etapa de reciclagem na camada inferior do cartão, simulando o que ocorre na indústria. Obter desta forma, cartões que possuem a cada reciclo uma mistura de fibras e traqueídeos em diferentes níveis de reciclagem.

Verificar em função do número de vezes que as fibras foram recicladas, a influência do processo de reciclagem nas características físicas dos cartões formados. Essa verificação será feita através da avaliação das seguintes características destes cartões: Rigidez Taber, índice de tração, alongamento, índice de rasgo, resistência à delaminação, resistência à dobras duplas e permeância ao ar.

Os valores obtidos no experimento serão comparados com os conseguidos atualmente no mercado de cartões para embalagem.

Como objetivo final do trabalho tem-se a avaliação da viabilidade técnica de uso das embalagens cartonadas como fonte de fibra secundária nobre.

3.0 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Definições

O cartão multifolhado é um tipo de compósito, pois é formado por várias folhas aderidas de forma a constituir uma folha mais espessa. É classificado de acordo com o tipo de matéria-prima utilizada em cada camada e pelo valor de sua gramatura, ou seja, gramas por metro quadrado de papel (ou cartão). De maneira geral, recebe a denominação de cartolina quando sua gramatura fica abaixo de 100 g/m^2 e de cartão, quando esta é superior a este valor.

Os cartões, geralmente, são compostos de duas ou mais camadas. A parte externa da embalagem é denominada forro ou capa, enquanto a camada interna é denominada verso. Quando há outras camadas, estas são denominadas de miolo, suporte ou o enchimento.

A classificação dos cartões segundo a Associação Brasileira de Papel e Celulose e Papel é a seguinte :

Cartões Duplex : Cartão composto de forro e suporte, com 200 a 600 g/m^2 , usado para confecção de cartuchos¹, impressos ou não sendo o forro a camada superior, geralmente fabricada com pasta química branqueada, monolúcida com ou sem tratamento superficial. Define-se suporte como as camadas inferiores fabricadas com pasta não branqueada e/ou pastas provenientes de aparas .

Cartões Triplex : Cartão composto de um suporte coberto em ambas as faces por forros. Sua utilização é de uso análogo ao cartão duplex . (BRACELPA, 1997)

Estes cartões são utilizados na produção de diversos tipos de embalagens, as quais, por conveniência foram subdivididas em sete categorias obtidas em função das principais aplicações a saber:

¹ Embalagem impressa e dobrada

Categoria I – CARTÃO BRANCO - Cartão integral revestido, composto por 100 % de celulose virgem branqueada com ou sem revestimento (camada de tinta couché que confere acabamento ao cartão). As aplicações para este tipo de cartão são: Embalagens para cosméticos e alimentos, cartões de visita, capas de edições de livros, embalagens para cigarros, publicidade, etc.

Categoria II - TRIPLEX - Cartão revestido com forro e verso branqueados e miolo não branqueado. As aplicações para este tipo de cartão são: embalagens de cosméticos e alimentos, eventos publicitários, impressos editoriais , etc.

Categoria III - DUPLEX - Cartão revestido, com forro branqueado, miolo de fibras secundárias e verso com celulose química não branqueada. As aplicações para estes cartões são: embalagens para alimentos, produtos de higiene, produtos farmacêuticos, cosméticos, brinquedos, autopeças , eletrodomésticos, etc.

Categoria IV - DUPLEX - É o cartão revestido, com forro branqueado e com miolo e verso compostos por fibras secundárias, pasta mecânica ou fibras de outras procedências. As aplicações para estes cartões são: embalagens para alimentos, produtos de higiene e farmacêuticos, cosméticos, brinquedos, auto peças, eletrodomésticos.

Categoria V - DUPLEX - É o cartão não revestido, com celulose branqueada no forro, aparas e pasta mecânica no miolo e verso. As aplicações para este tipo de cartão são: Embalagens de baixo custo que não requeiram grande apelo visual .

Categoria VI – DUPLEX – É um cartão especial para envase de alimentos líquidos e viscosos ultrapasteurizados, pois receberá laminação de alumínio e polietileno de baixa densidade para a fabricação de embalagens tipo longa vida. É composto de celulose kraft de pinus não branqueada no verso e uma mistura de pasta kraft de eucalipto e pinus branqueada no forro. Este cartão pode ser revestido ou não.

Categoria VII - CARTÃO BRANCO PARA PRODUTOS PASTEURIZADOS – É um cartão especial que sofrerá laminação com polietileno de baixa densidade e em alguns casos será laminado também com alumínio para fabricação de embalagens para produtos líquidos pasteurizados como sucos e bebidas lácteas.

3.2 Panorama mundial do mercado de embalagens

O mercado papelheiro tem sofrido várias alterações ao longo dos últimos anos no que diz respeito à demanda, preços, qualidade e adequação ao uso. As perspectivas para os próximos anos é de crescimento deste setor.

As rápidas mudanças tecnológicas, a globalização da economia, o crescimento populacional, as restrições das áreas de plantio são alguns dos fatores que afetarão o mercado papelheiro nos próximos anos. Dentre estes vários fatores destaca-se a disponibilidade das fibras vegetais como matéria-prima para a fabricação do papel, pois esta terá um grande peso na formulação das diretrizes a serem seguidas pela indústria papelreira. A competição no mercado de fibras está crescendo dramaticamente e causará um impacto no futuro de nossas indústrias.

A utilização de produtos reciclados vem crescendo tanto em função de redução de custos por ser uma matéria-prima mais barata, como em função de políticas ambientais que estimulam o consumo de produtos reciclados, podendo até aumentar a demanda de aparas a ponto de torná-las escassas e mais caras, o que já está se tornando realidade hoje em dia.

O grande desafio é produzir produtos de materiais reciclados que apresentem os mesmos níveis de qualidade e desempenho que aqueles produzidos com matéria-prima virgem, entretanto a reciclagem do papel possui seus pontos positivos como os negativos. D'Almeida (1996) comenta que o uso de fibras recicladas para a fabricação de papel não é recente, tendo como origem o atendimento a fatores econômicos.

Hoje, a força que impulsiona a reciclagem é ainda econômica, mas vem sendo cada vez mais alavancada pelo fator ambiental. Isto se contrapõe ao aumento da

produção de pastas celulósicas de fibras virgens, pois em países que possuem áreas para plantio, tem-se uma maior oferta de empregos. Além disso, geralmente, os papéis feitos com fibras virgens são de melhor qualidade.

De acordo com Pires (1999), a reciclagem de papéis no Brasil em tempos recentes tem-se destacado cada vez mais na medida em que contribui para a preservação e conservação do meio ambiente e para a solução da questão da destinação dos lixos urbanos. Ressalta ainda que a reciclagem é, em realidade, complementar à produção de matérias-primas fibrosas virgens, que constitui a porta de entrada de todo o processo. É de opinião que é tecnicamente impossível a reciclagem de papéis descartados após 4 ou 5 ciclos, caso não ocorra a entrada de matérias-primas fibrosas virgens no processo.

No que diz respeito à utilização do papel, destaca-se o papel do tipo cartão multifolhado que pode ser tratado como um tipo de compósito que é utilizado na fabricação de diversos tipos de embalagens. Na verdade, os produtores de embalagens são a grande força-motriz que provocou o aumento da demanda de papel cartão nos últimos anos. Esta demanda deverá crescer ainda mais já que se espera-se que o mercado asiático aumente sua participação no setor de embalagens em decorrência de sua alta taxa de crescimento populacional. Também é esperado um crescimento no setor de embalagens para eletroeletrônicos, alimentos e em geral, no consumo per capita de papel de países do terceiro mundo incluindo a Ásia e América Latina. Segundo Macnutt et al. (1996), a expectativa de crescimento anual para o consumo de papel e cartão para embalagens é de 2,8 %. Para os países asiáticos do Pacífico, excluindo-se o Japão, prevê-se para estes tipos de papéis um crescimento na demanda de 4,5 % ao ano. Já a América do Norte, também para estes tipos de papéis deverá ter um crescimento na demanda de 1,8% ao ano, enquanto na Europa Ocidental o crescimento deverá ser de 2,5% ao ano.

A Indústria brasileira de embalagens vem enfrentando a competição de produtos importados devido ao processo de globalização da economia. O custo do produto brasileiro ainda é alto frente aos concorrentes estrangeiros, mas de acordo com Scholz (1996) o mercado de embalagens desponta como um dos mais promissores no

país, e mesmo enfrentando uma a competição externa de igual para igual, ainda projeta um crescimento anual de 15%.

Haberfeld (1999) menciona que entre 1989 e 1999, as embalagens cartonadas tipo longa vida como um dos produtos de maior crescimento de demanda. Comenta ainda que a fatia representada pelas embalagens de papel e papelão representam 27,5% do mercado de embalagens.

3.3 Características dos cartões para embalagens

As principais características que são necessárias para a utilização de cartões na confecção de embalagens podem ser divididas em três grupos: propriedades ópticas (aspecto visual), propriedades mecânicas (aspecto resistência) e propriedades de desempenho gráfico.

3.3.1 Propriedades ópticas

É conhecido o fato de que da aparência visual do papel depende a da embalagem. Isto tem levado a se dar uma atenção especial às propriedades tanto ópticas como de textura do cartão, pois estas permitem que se faça uma boa impressão, com contraste nas cores fortalecendo o apelo visual.

Quando se usa papel reciclado, este pode ser branco ou pardo, sendo que a perda de alvura se torna um dos fatores negativos a ser considerado na reciclagem de papéis brancos. A alvura do papel é uma questão que está bastante relacionada com os costumes do consumidor, principalmente o impressor que prefere usar um papel com a maior alvura possível. Entretanto, este problema pode ser minimizado para algumas aplicações onde se exige qualidade de impressão através do revestimento do papel.

Outro fator importante para a boa qualidade da impressão é a própria textura da folha que é medida pela aspereza². Já o brilho da superfície do cartão é, em

² Grau de irregularidade da superfície do papel ou cartão, em relação a outra idealmente lisa e plana (NBR 5342: 1993)

grande parte, responsável pelo contraste entre as cores impressas e pode ser conseguido pela passagem do cartão em cilindros do tipo Yankee ou por calandragem de sua superfície branca.

A opacidade do cartão é uma propriedade que indica a capacidade de se ver através da folha. No caso de cartões multicamadas, é importante que a pasta branqueada que compõe a camada superior tenha boa opacidade, o que permite reduzir a quantidade destas fibras de alto custo na sua fabricação.

3.3.2 Propriedades mecânicas

Uma embalagem adequada a seu uso deve proteger seu conteúdo da ação tanto de agentes externos quanto internos. No caso de embalagens de papel, estas devem ainda possuir outras características que serão apresentadas e discutidas a seguir. Entretanto, deve-se procurar sempre um balanço entre estas propriedades, já que muitas vezes para se conseguir um incremento em uma delas, tem-se como consequência, a redução de outras.

As propriedades mecânicas usualmente requeridas para embalagens são: rigidez, resistências ao alongamento, à tração, ao arrebentamento, ao rasgo, à dobras e à delaminação. São ainda importantes algumas características físicas como o volume específico aparente, a espessura e a permeância ao ar.

Rigidez é a resiliência conferida à embalagem a fim de que ela seja empilhada. Esta característica é afetada pela espessura do cartão. Pfaler (1985) afirma que a rigidez em cartões multifolhados depende da qualidade da pasta, de seu volume aparente total e do módulo de elasticidade das camadas externas. A máxima rigidez é alcançada quando se tem no cartão camadas centrais produzidas com pasta com baixo grau Schopper Riegler, o que faz com que ocorra um aumento do seu volume específico aparente. Cartões com camadas externas preparadas com pasta que foi refinada apresentam alta resistência à tração, porém, há diminuição do volume específico aparente.

Bugajer (1976) comenta que em folhas não calandradas, a densidade aparente é uma indicação do grau de refinação. Quanto mais refinada for a pasta, menor a espessura, maior a sua densidade aparente e conseqüentemente menor o seu volume específico aparente. Esta pesquisadora comenta ainda que a reciclagem de uma pasta constituída com 85% de fibras de coníferas e 15 % de fibras de folhosas mostrou-se, quando sem refino, valores baixos de densidade aparente e, após o refino até 50 °SR, houve uma recuperação dos valores de densidade.

Howard (1990) comenta que é aceito de forma generalizada que ocorre um aumento da rigidez em papéis reciclados, mas diferentes trabalhos analisados mostraram que também ocorre queda do módulo de elasticidade. Por outro lado, Ferguson (1992) mostrou que pastas de alto rendimento comportam-se de forma diferente das pastas kraft, mostrando-se após o reciclo mais flexíveis e com menor rigidez.

Alongamento refere-se à capacidade máxima do papel de ser distendido sem se romper. De uma forma geral, o alongamento é reduzido durante a reciclagem (Howard, 1990).

Resistência à tração é aquela que o cartão oferece à forças paralelas aplicadas em sentido contrário ao plano de medição sob condições específicas de cargas. A escolha do tipo de fibras e o seu grau de refino podem afetar esta característica do cartão. De forma geral, é aceito que a resistência à tração diminui com a reciclagem.

O processo de obtenção da pasta afeta a maneira como esta propriedade varia com a reciclagem. Ferguson (1992) mostra que pastas químicas sofrem redução de até 50 % do valor original de resistência à tração enquanto que pastas de alto rendimento sofrem uma variação mais branda.

Bugajer (1976) observou a mesma tendência de queda na resistência à tração de papel reciclado composto por 85 % de fibras de coníferas e 15 % de fibras de folhosas, mas com a refinação até 50 °SR os valores para a resistência à tração superaram os valores originais atingindo um ponto máximo no terceiro reciclo e voltando a cair a partir do quarto.

Ferguson (1992), citando seu próprio trabalho onde reciclou até dez vezes misturas de polpas às quais não se conhecia a quantidade de fibras kraft, mostra que ocorreu um aumento da resistência à tração com retorno ao valor inicial após cinco ciclos, e um novo aumento até o décimo. A razão para esta resposta cíclica não foi dada, mas o autor acredita que seja devido à perda de ligações das fibras de polpação kraft que está causando parte da redução na resistência da pasta.

Este mesmo autor acredita ser possível que o meio alcalino do processo de polpação ($\text{pH} = 10,2$) tenha aumentado a pressão osmótica gerada na parede celular, fazendo com que a fibra absorvesse mais água tornando-a mais flexível. Scallan e Tigerstrom, citados por Ferguson (1992), dizem que a fibra pode inchar-se além do usual se grupos químicos atacados da celulose forem ionizados, o que cria uma pressão osmótica desbalanceada e a fibra recebe água extra. Porém, comenta ele, há um limite que é a resistência da parede celular que faz com que sua expansão seja bastante reduzida.

A resistência ao arrebentamento é aquela apresentada pelo cartão à pressão aplicada sob uma forma normatizada até a sua ruptura. Uma embalagem feita de papel cartão deve apresentar uma alta resistência ao arrebentamento para resistir às pressões internas exercidas pelo conteúdo (por exemplo em caso de queda). Segundo Ferguson (1992) e Bugajer (1976), de forma geral, este tipo de resistência também diminui com a reciclagem; mas do mesmo modo que a resistência à tração, a resistência ao arrebentamento pode atingir valores superiores aos originais, desde que as pastas sejam refinadas.

Ferguson (1992) conclui também que os resultados para a resistência à tração mostram ganhos para pastas de alto rendimento ainda durante o quinto ciclo enquanto pastas kraft perdem resistência. A mistura de 50 % CTMP (pasta quimitermomecânica) e 50 % pasta kraft mostrou uma inicial redução no valor deste tipo de resistência seguido de um ganho após o terceiro ciclo, voltando aos valores originais. As razões para este fenômeno, segundo o autor, são as mesmas que provocam o fenômeno cíclico no caso da resistência à tração. As pastas de alto rendimento, devido ao alto teor de lignina, ficam menos estressadas que as pastas kraft. Sucessivos ciclos

possibilitam que em uma mistura de pastas, com a perda de ligação entre as fibras da pasta química, dão oportunidade às fibras ou traqueídeos das pastas de alto rendimento aumentarem suas áreas de ligação entre si melhorando as propriedades finais do papel.

A resistência ao rasgo é exigida quando se objetiva a fabricação de sacolas, bolsas e caixas. Ferguson (1992) comenta sobre um experimento realizado por Howard onde pastas kraft mostraram ganhos na resistência ao rasgo ao longo dos reciclos, enquanto pastas CTMP mostram queda. Pastas mecânicas não mostraram alteração e misturas de pastas kraft com CTMP, nas proporções mássicas de 50 para 50%, mostraram ligeiro acréscimo nos valores de resistência ao rasgo com posterior queda destes valores.

Ratnieks et al. (1995) comentam que a resistência ao rasgo é uma propriedade que intrinsecamente tem mais associação com as dimensões das fibras, sendo que a presença de fibras longas na mistura faz com que seus valores maiores também predominem na mistura. Por outro lado, como a refinação provoca o efeito de cortar as fibras e os traqueídeos, um papel com alta resistência ao rasgo pode ser obtido com o uso de pastas químicas de coníferas com refinação leve.

Resistência às dobras duplas (double folding) refere-se à capacidade de uma folha de ser dobrada várias vezes sem se romper. Um exemplo que mostra a importância desta característica é o uso de papel cartão na confecção de pastas para arquivos e de embalagens em geral. Casey (1980) comenta que a resistência à dobras diminui com a reciclagem.

Por resistência à delaminação (Plybond) entende-se a força necessária para separar as camadas do cartão multifolhado. Um cartão a ser usado numa embalagem não pode ter as camadas facilmente separadas, seja durante o manuseio do produto, seja a confecção da mesma ou seja em seu envase automático.

Pfaler (1985) afirma que aumentando a retenção de finos pode-se aumentar a resistência à delaminação quando cartões multifolhados foram conformado em máquinas de mesa plana. Com a reciclagem, há aumento de finos provenientes de sucessivas desagregações e refinações ainda que brandas. Entretanto, tem-se o inconveniente dos finos prejudicarem a drenagem durante a formação da folha de papel.

3.3.3 Desempenho gráfico

É um conjunto de propriedades que são de interesse da indústria gráfica que fará a impressão do cartão, sendo que este será posteriormente cortado e vincado para a confecção final da embalagem. Fazem parte desse conjunto de propriedades, o ensaio de Cobb que avalia a capacidade de absorção de água pelo cartão em um tempo normatizado através da medição da quantidade de água absorvida pelo papel em gramas de água por metro quadrado de cartão.

A capacidade de absorção de tinta é o que regula a sua penetração no papel e está relacionada com a camada de revestimento deste.

Outras propriedades de grande importância para o gráfico são ainda a resistência ao arrancamento superficial de fibras, determinado pelo “pick test” e garantida em geral pela colagem superficial da folha e o ensaio “K & N” feito no aparelho IGT, onde se mede a absorção de tinta pela folha.

Van Wyk, citado por Howard (1990) notou uma queda no “pick test” com sucessivas reciclagens do papel, e McKee também citado por Howard (1990) observou uma queda na resistência na direção z de papéis, permitindo-lhe avaliar em até que ponto o cartão ou papel podem suportar as diversas solicitações que ocorrem no plano perpendicular à folha e que aparecem durante a impressão como trações provocadas pela pega (“tack”) da tinta.

3.4 Efeitos da reciclagem nas características do papel

3.4.1 A ligação fibra-fibra

Uma folha de papel é o resultado das ligações entre as fibras por forças de coesão que as mantêm unidas conferindo resistência mecânica ao papel. De acordo com Casey (1980), quando o papel é umidificado, afrouxam-se as ligações fibra-fibra. Isso ocorre porque os grupos hidroxilas da celulose passam a se ligar com a água através

de pontes de hidrogênio desfazendo desta forma as ligações entre as hidroxilas da própria celulose com outros filamentos de celulose das fibras vizinhas. Quando o papel é desaguado e seco, o contrário ocorre, já que a água é retirada por gravidade ou vácuo durante a formação da folha por aplicação de força mecânica durante a prensagem e por aplicação de calor durante a secagem. Isto faz com que as hidroxilas da celulose que estavam ligadas à água por pontes de hidrogênio, devido à aproximação com outros filamentos de celulose, com a saída da água e redução do volume do papel, passam a se ligar entre si.

Este pesquisador diz ainda que o grau de ligação entre as fibras de uma folha de papel depende da natureza química e física da superfície e da maneira que as fibras foram dispostas durante a sua formação. A ligação é fortemente influenciada pela área das fibras que realmente estão em contato, pelo o número de ligações por unidade de área e pelo número de contatos e ligações de fibras por unidade de volume de estrutura fibrosa.

Afirma ainda que o tratamento mecânico a que as fibras são submetidas durante a desagregação dos papéis, sua refinação e as cargas a que são submetidas na prensagem e a forma como são secas são fatores que também influenciam na ligação entre fibras. Este pesquisador comenta ainda que a morfologia das fibras, incluindo seu comprimento, espessura da parede celular, diferenças entre polpas de coníferas ou de folhosas, composição química da polpa, presença de aditivos e processo de polpação a que foi submetida influenciam na ligação entre fibras.

Em seu trabalho, este pesquisador comenta que o processo de secagem provoca alterações nas fibras difíceis de serem revertidas enquanto que o refino tem a função de desfibrilar, abrindo a estrutura da parede celular. A secagem do papel reverte este processo devido ao encolhimento destas fibras e pela formação do que se denomina ligações internas, as quais não se desintegram com o reumidecimento ou com a desagregação da folha, comenta ainda que a refinação da fibra reciclada pode abrir novamente a sua estrutura, no entanto o refino provoca o corte das fibras aumentando o teor de finos que dificultam a drenagem durante o processo de formação da folha.

A reciclagem, segundo Casey (1980), contribui para o aumento da rigidez do cartão e diminuição da sua flexibilidade. As ligações entre fibras são reduzidas diminuindo conseqüentemente as resistências ao arrebentamento, tração e dobras duplas. Em contra partida, há aumento na resistência ao rasgo, na opacidade e na rigidez. Howard (1990) também comenta que também o rasgo aumenta com a reciclagem e que há diminuição de propriedades como a densidade aparente e o alongamento.

De acordo com Law et al. (1996), as condições de polpação são fatores determinantes no processamento de fibras recicladas. Na polpação química, a lignina é praticamente removida por completo da pasta, deixando principalmente carboidratos nas fibras. Quando estas fibras sofrem repetidas operações de secagem e reumidecimento, elas são arrepeladas e endurecidas perdendo parcialmente seu potencial de ligação.

Por outro lado, observaram também que ao contrário das pastas químicas, as pastas de alto rendimento como, por exemplo, pastas mecânicas e as termomecânicas que possuem praticamente todos os componentes químicos originalmente presentes na madeira aumentam seu potencial de ligação e como resultado tem-se um aumento na flexibilidade após sucessivas reciclagens, melhorando as características finais destas pastas.

Kwei et al. (1996) comentam que a redução de propriedades intrínsecas da fibra como capacidade de ligação, flexibilidade, e potencial de inchamento está associada com um fenômeno irreversível de endurecimento e de hornificação das fibras que ocorre durante a secagem.

Comenta que durante a secagem de pastas químicas de baixo rendimento são formadas pontes de hidrogênio entre os grupos de celulose na parede celular e parte destas ligações não são desfeitas após o reumidecimento. A hornificação provoca o efeito de redução da ligação entre fibras, resultando em diminuição da densidade aparente e das resistências à tração e arrebentamento do papel.

Segundo eles, a perda de ligação devido ao fenômeno de hornificação parece não estar ligada apenas ao tipo de processo de polpação já que polpas

branqueadas mostraram maior grau de hornificação do que pastas não branqueadas e pastas de alto rendimento mostram pouca ou quase nenhum efeito de hornificação.

Estes pesquisadores comentam ainda que a presença de lignina e hemiceluloses evitam um contato direto dos grupos de celulose durante a secagem. De acordo com Clarke citado por Bouchard & Douek (1994), uma superfície que é repleta de hemiceluloses deve ser boa para ligações. Bouchard & Douek (1994) baseados no teor de pentosanas como indicador de hemiceluloses verificaram em seus experimentos que o decréscimo mais acentuado no nível de pentosanas (1,2 e 1,3 %) ocorreu após o quinto reciclo que foi observado quando trabalhavam com amostras de pastas kraft e TMP (pastas termomecânicas), não refinadas, porém a resistência à tração, assim como a resistência ao arrebentamento e dobras duplas foram significativamente aumentadas.

Observaram também que, após o quinto ciclo de reciclagem de pastas kraft refinadas, o nível de pentosanas caiu apenas 0,2 a 0,3 % (para pastas com e sem finos recirculados respectivamente) e as resistências à tração, arrebentamento e dobras caíram de forma significativa. Não houve perda de pentosanas mensurável para amostras de pastas de CTMP, a qual teve sua resistência à tração aumentada em 15 % após o quinto reciclo.

Com base nestes resultados, Bouchard & Douek (1994) concluíram que parece não haver correlação direta entre a dissolução de pentosanas e lignina durante a reciclagem e a perda de propriedades mecânicas. Também concluíram que não há evidência da contribuição da degradação da lignina produzir perdas de resistência mecânica uma vez que a concentração de lignina permanece constante durante os vários estágios da reciclagem. Mudanças no potencial de ligação parecem ser controlados por fatores físicos e não químicos de acordo com os autores deste trabalho.

Howard (1990) cita que hoje é aceito que a perda de flexibilidade e plasticidade é devida à redução capacidade de entumescimento da fibra uma vez que esta já passou pelo processo de secagem.

Bugajer (1976) comenta que a reciclagem causa um aumento da cristalinidade; assim como uma diminuição na área superficial, sendo que estes fatores diminuem a intumescência das fibras, diminuindo também a probabilidade de ligações

entre elas. Comenta ainda que uma refinação moderada pode auxiliar a recuperar a resistência do papel, mas uma refinação excessiva leva à danificação da fibra.

Bouchard & Douek (1994) avaliaram o índice de cristalinidade para pastas recicladas até cinco vezes e concluíram que não há aumento significativo deste índice durante reciclagem discordando, portanto da primeira autora.

Gavazzo et al. (1995) trabalharam com pastas termomecânicas, quimitemecânica e quimimecânicas de *Picea negra*, reciclando até cinco vezes e chegaram à conclusão de que a reiteração do ciclo de desintegração, formação, prensagem e secagem para estas pastas produzem melhoras na resistência intrínseca das fibras e na resistência ao rasgo, além de um rendimento entre 85,5 e 94 % sem afetar o comprimento das fibras. Em termos de propriedades físicas e ópticas, as pastas TMP e CTMP não foram afetadas durante o reciclo, no entanto, as pastas de CTMP mostraram diminuição na capacidade de entrelaçamentos de fibras.

Segundo este autor, estes dados estão de acordo com as observações de Law et al. (1996) os quais comentam que os processos que utilizam polpação química perdem poder de ligação.

McKee, citado por Bugajer (1976) estudou o efeito de reciclagem sobre as propriedades do papel usando pasta celulósica kraft não branqueada, refinada em moinho Valley até uma drenabilidade de 325 ml CSF. Foram preparadas folhas manuais em formador equipado com sistema de recirculação de águas brancas, secando-as em secador aquecido a vapor. Efetuando seis ciclos de reciclagem, obteve-se como resultado, a diminuição da resistência ao arrebentamento, aumento da resistência ao rasgo diminuição do alongamento e da resistência à tração, diminuição da resistência à dobras, ligeiro aumento da rigidez Taber, diminuição da resistência ao ar, diminuição de ligações transversais, diminuição do grau de enrubescimento e diminuição moderada da área de ligação.

Em outro experimento, este mesmo pesquisador conseguiu-se reverter alguns resultados reciclando a pasta a um nível de resistência ao arrebentamento (através da aplicação de refino), obtendo-se aumento da densidade, aumento da resistência à

tração, diminuição do alongamento, diminuição da resistência ao rasgo, aumento da permeância ao ar, permanecendo constante a rigidez Taber.

3.4.2 Efeito de aditivos na ligação entre fibras

Papéis comerciais em geral recebem aditivos químicos para conferir alguma característica em particular, como por exemplo, a adição de cola para diminuir a absorção de água pelo papel ou a adição de cargas para aumentar a alvura.

Casey (1980) firma que em geral, a adição de substâncias na massa diminui as ligações entre fibras, principalmente quando se trata de substâncias hidrofóbicas, tais como, parafina ou resinas que provocam grande diminuição na força das ligações. Este efeito é provocado também, mas em menor escala, à adição de alumina e cargas.

Horn et al. e Gest e Voss, citados por Howard (1990) encontraram que na colagem com alumina provocou perda no potencial de reciclagem das fibras. Guest e Voss sugeriram que as fibras coladas mantém-se hidrofóbicas durante a reciclagem inibindo a ligação entre fibras no papel reciclado. Forester, também citado por Howard (1990) encontrou que em papéis colados em pH neutro as resistências ao arrebatamento ficaram mais próximas das originais, porém houve maiores perdas de resistência à tração.

Guess e Voss, por outro lado, em seus experimentos encontraram resultados diferentes dos de Forester e concluíram ainda que o potencial de reciclagem do papel com colagem neutra é consideravelmente pior que o de colagem ácida.

As condições químicas da primeira fabricação do papel influencia seu potencial de reciclagem. Lindstrom e Carlsson, citados por Howard (1990), estudaram como o ambiente químico estabelecido durante a primeira fabricação do papel controla o inchamento das fibras após a secagem e sucessivas reciclagens. Trabalhando com pastas não branqueadas e secas tanto sob condições ácidas como alcalinas durante a primeira fabricação, concluiu que o pH ácido na primeira fabricação prejudicou o inchamento das fibras.

O hidróxido de sódio, segundo Howard (1990), vem sendo usado em papéis reciclados desde 1800 para auxiliar tanto a remoção de tintas como sua desagregação. Segundo ele, o efeito benéfico do hidróxido de sódio sobre a resistência mecânicas de papéis reciclados já foi bastante investigado e é bem conhecido.

De acordo com Casey (1980), algumas substâncias quando adicionadas à massa, aumentam a resistência da folha como aqueles que pertencem à classe de substâncias de alto peso molecular. Colóides hidrofílicos, como o amido, as proteínas, os polímeros de acrilamida, que são solúveis em água, são absorvidos pela superfície das fibras e constroem ligações do tipo fibra-ligante-fibra. Howard (1990) comenta que amidos catiônicos aumentam a resistência de polpas virgens através do aumento das ligações, devendo fazer o mesmo em papéis reciclados.

Casey (1980) afirma ainda que o pH tem um leve efeito nas características finais do papel e um grande efeito no seu desempenho como produto. A alumina tem um efeito decisivo na resistência da folha desde que reaja com álcali em água para formar flocos de alumina que têm efeito sobre as ligações fibra-fibra. Segundo ele, as reações de alumina com bicarbonato e hidróxidos diminuem apreciavelmente a resistência do papel e em especial a resistência ao arrebentamento.

3.4.3 Efeito do processo de fabricação na resistência mecânica

O processo de formação da folha em cartões multifolhados pode ser feita em máquinas de papel com mesas planas, com formas redondas, ou ainda, uma combinação delas. De acordo com Mosetic & Fonseca (1985), o tipo de formação afeta as características de resistências da folha, já que diferentes processos direcionam as fibras de diferentes maneiras. De acordo com Mosetic (1985), para se obter um elevado nível de conformação da folha em mesa plana e conseqüentemente maximizar o módulo de elasticidade (rigidez) da mesma, procura-se formar as camadas externas (forro e verso), utilizando-se baixos valores de consistência na caixa de entrada (0.25 a 0.35%). Entretanto, para as camadas internas, procura-se trabalhar com consistência na caixa de

entrada bem mais elevadas (até 1.1%), visando obter altos valores de volume específico da folha.

A prensagem do cartão é uma fase que afeta bastante as características finais do cartão. É de conhecimento na indústria papelreira que a espessura e o volume aparente são diminuídos quando se aumenta a pressão linear nas prensas. Entretanto, Koning & Haskel (1979) diz que aumentando-se a pressão há ganhos nas resistências à compressão, tração, estouro, módulo de elasticidade e resistência à dobras duplas, obtendo-se, por outro lado, a diminuição da resistência ao rasgo, do volume aparente e da espessura.

Howard (1990) cita alguns trabalhos em que são medidas as capacidades de retenção de água após a secagem e onde foram detectadas perdas no potencial de reciclagem após a prensagem. Lindson e Carlsson citados por Howard (1990) verificaram que pastas kraft não branqueadas, refinadas moderadamente, tiveram queda em torno de 5% na capacidade de retenção de água após a prensagem a úmido até 60 % e quedas de até 15% para pastas refinadas mais intensivamente e prensadas nas mesmas condições.

A calandragem do cartão tem por objetivo dar acabamento final à folha diminuindo a aspereza e conferindo brilho. Gratton & Hamel (1995) afirmam que em calandras convencionais, o acabamento para ser obtido exige perdas de características físicas. O volume aparente é reduzido devido à altas cargas que o papel é submetido e em consequência, há redução também de espessura e outras características mecânicas, em particular a rigidez.

3.5 Reciclagem de embalagens cartonadas tipo longa vida

As embalagens cartonadas Tetra Brik Aseptic, utilizadas para envase asséptico após o processo de ultrapasteurização, são constituídas por três matérias-primas : papel duplex, alumínio e polietileno de baixa densidade. A composição da embalagem é de 75 % de papel duplex de fibras longas, 20% de polietileno e 5% de alumínio.

As embalagens Tetra Rex são constituídas de papel branqueado e polietileno, podendo ter em sua composição a camada de alumínio. São utilizadas para produtos refrigerados tais como sucos e leites pasteurizados .

As embalagens Tetra Top são constituídas por papel duplex e polietileno e são utilizadas para envase de produtos pasteurizados.

De acordo com Zuben & Neves (1999), todas estas embalagens são recicláveis, sendo esta feita primeiramente em fábricas de papel que utilizam a fibra. A reciclagem do polietileno e do alumínio gerados na fábrica de papel pode ser feita de três maneiras diferentes: a recuperação de energia através de incineração em caldeiras de biomassa, a recuperação do alumínio metálico por pirólise ou plasma, ou ainda a fabricação de peças por processos de extrusão seguidos de termo-injeção.

Neves (1999) afirma que no processo de reciclagem, faz-se a separação das diversas camadas de materiais que a compõem que é feita em hidrapulper de alta, média ou baixa consistência sendo necessário um tempo de residência de 20 a 30 min para que as fibras presentes na embalagem se destaquem e fiquem suspensas possibilitando a retirada por bombeamento. Comenta ainda que a desagregação deste tipo de material não requer a utilização de qualquer aditivo químico no processo .

FONTE : Neves, 199

Figura 1 – Hidrapulper antes da desagregação de embalagens cartonadas.

FONTE : Neves, 1999

Figura 2 – Hidrapulper após a desagregação de embalagens cartonadas.

Neves (1999) comenta que o tipo de rotor influencia na qualidade das fibras, assim como na resistência mecânica delas. Comenta ainda que processos em alta consistência têm a característica de não cortar as fibras, gerando menos finos, enquanto que processos a baixa consistência efetuam o corte que irá refletir na drenabilidade e nas características finais do papel.

Zuben & Neves (1999) comentam que a primeira purificação da fibra ocorre no hidrapulper, gerando um rejeito que é composto de alumínio e polietileno. O material fibroso que fica suspenso em água após a desagregação é retirado por bombeamento pela parte inferior do hidrapulper, passando por uma chapa perfurada que evita passagem do plástico e do alumínio. Estes, são retirados pela lateral por gravidade e passam por um lavador de plástico. As fibras retornam para o processo enquanto que o alumínio e o polietileno são prensados e secos ao ar.

Neves (1999) comenta que o tipo de lavador de plástico que tem oferecido boa eficiência é o tipo Peneira Cilíndrica Rotativa e Despressurizada, mostrado na Figura 3. À medida que o material passa pelo seu interior, ocorre a lavagem com jatos de água.

Figura 3 – Peneira cilíndrica despressurizada usada na limpeza do polietileno com alumínio após descarga do hidrapulper.

Comenta ainda que as fibras recuperadas voltam para o sistema de água e sendo recuperadas através de engrossadores, como mostra a Figura 4 ou peneiras estáticas tipo Side Hill. As Figuras 1 e 2 mostram respectivamente um hidrapulper de alta consistência e rotor helicoidal antes e após a desagregação.

Figura 4 - Engrossador para a pasta após depuração

Zuben & Neves (1999) afirmam que o rejeito gerado, composto de alumínio e polietileno, pode ser reciclado de três maneiras : a) Incineração com recuperação de energia, b) fabricação de peças plásticas por processos de extrusão

seguido de injeção e c) recuperação do alumínio metálico através do processo plasma. A reciclagem para fabricação de peças plásticas é uma inovação tecnológica e tem se mostrado viável tecnicamente. Estes pesquisadores avaliaram as características do material obtido após a extrusão no que diz respeito às propriedades de interesse da indústria plástica.

De acordo com eles, o alumínio e o polietileno são acondicionados em fardos como mostra a Figura 5 e encaminhados a recicladores de plásticos, onde passarão por um novo processo de limpeza em lavador de plástico dimensionado para extrair todo residual de fibras do material. Após a limpeza o polietileno contendo alumínio é centrifugado e seco.

FONTE: Zuben & Neves, 1999.

Figura 5 - Fardos de polietileno com alumínio obtidos no rejeito da peneira cilíndrica despressurizada.

FONTE: Zuben & Neves, 1999.

Figura 6 – Extrusão do polietileno com alumínio

FONTE: Zuben & Neves, 1999.

Figura 7 – Injeção do polietileno com alumínio

Zuben & Neves (1999) afirmam que o material composto de alumínio e polietileno passa então pela extrusão como mostra a Figura 6, onde é obtido o pellet, matéria-prima para a injeção ou laminação de peças plásticas. A extrusão consiste na passagem do material por um equipamento em que o material será aquecido, atingindo o ponto de plasticidade sendo posteriormente cortado em grãos.

Figura 8 – Peças injetadas com polietileno/alumínio

A etapa final do processamento é a injeção de peças mostrado na Figura 7. A Figura 8 ilustra os tipos de peças que podem ser injetadas utilizando o compósito de polietileno e alumínio.

4.0 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

Os materiais utilizados neste trabalho foram: Celulose de eucalipto kraft branqueada, conseguida junto à firma Ripasa S.A. e embalagens cartonadas do tipo longa vida conseguidas de coleta seletiva realizada na cidade de Campinas-SP.

O cartão usado na fabricação das embalagens do tipo longa vida, é fabricado a partir de celulose kraft de pinus no verso deste cartão, que é do tipo duplex e no forro, com uma mistura de aproximadamente 70% pasta kraft branqueada de pinus e 30% de pasta kraft branqueada de eucalipto no forro.

4.2 Métodos

4.2.1 Desagregação

A desagregação das embalagens cartonadas do tipo longa vida foi feita em desagregador industrial de média consistência em uma fábrica de papel. A consistência utilizada foi de 7 a 8 % sem adição de produtos químicos ou aquecimento.

Após 30 minutos de desagregação, a pasta obtida foi manualmente desaguada em sacos de náilon e acondicionadas para seguirem ao laboratório. Aí foi tratada em desagregador tipo D-3000 fabricado pela Regmed, e refinada em moinho Valley, sendo depois utilizada na confecção do verso dos cartões duplex.

A pasta branqueada seca foi desagregada em laboratório e refinada em moinho Valley até 30 °SR, sendo depois utilizada na fabricação da capa dos cartões duplex.

A norma utilizada para desagregação em laboratório para ambos materiais foi a NBR 14030:1998.

4.2.2 Refinação

A resistência à drenagem, expressa pelo grau Schopper Riegler, °SR, foi determinado pelo método NBR 14031:1998, utilizando-se medidor modelo SR/A fabricado pela firma Regmed. Na prática, usualmente expressa o que é denominado grau de refino de uma pasta.

Para este trabalho, o grau de refino estipulado para a pasta branqueada foi de 31 °SR e de 32 °SR para a pasta obtida da reciclagem das embalagens cartonadas.

Estes valores foram escolhidos por serem bastante próximos aos praticados em fábricas de papel cartão. O tempo de refinação no moinho Valley para atingir tais valores de resistência à drenagem foi de 22 minutos para a pasta branqueada e de no caso da pasta não branqueada o tempo de refino foi de 20 minutos no primeiro reciclo e 10 minutos para as reciclagens seguintes. O método utilizado para a refinação Valley foi estipulado na norma ISO 5264-1:1979.

4.2.3 Fabricação dos cartões duplex

Com as pastas uma vez desagregadas e refinadas, formaram-se folhas de 250 g/m² em formador de folhas Rapid Koethen, modelo F/SS-2 fabricado pela firma

Regmed. Procurou-se manter sempre a seguinte proporção: 37,5% do cartão composto de pasta branqueada correspondente à sua capa e 62,5% correspondendo a seu verso composto de pasta não branqueada.

As camadas do forro e do verso foram formadas individualmente no formador de folhas. Após formada a camada do verso, esta foi desaguada e separada ainda na tela. Formou-se posteriormente a camada do forro em outra tela e, após o desagüe do forro, sobrepôs-se a esta a camada do verso aplicando vácuo em seguida. Após esta operação, as camadas já unidas, foram levadas ao secador do formador de folhas. Após a operação de secagem, as folhas foram acondicionadas de acordo com a norma NM-ISO 187:96. Para cada reciclo foram utilizadas três repetições.

4.2.4 Ensaaios físicos e medição dos comprimentos de fibras

Após a confecção dos cartões em laboratório, estes tiveram suas características físicas determinadas conforme os seguintes métodos :

Gramatura de acordo com o método ISO 536:1995, espessura pelo método ISO 534:1988, resistência à tração pelo método ISO 1924-2:1994, resistência ao arrebentamento pelo método NBR 13149:1994, resistência ao rasgo pelo método ISO 1974:1990, resistência à delaminação pelo método NBR 7151:1992, rigidez Taber pelo método ISO 2493:1992, alongamento pelo método ISO 1924-2:1994, resistência a dobras duplas MIT pelo método ISO 562626: 1993, permeância ao ar Gurley pelo método ISO 5636/5:1986 e umidade pelo método NBR 6039:1992.

Em cada reciclo foram tomadas amostras do material reciclado para medição de comprimentos de fibras com o objetivo de avaliar a degradação do ponto de vista anatômico e compará-las aos comprimentos de fibras do material no primeiro ciclo. As medições dos comprimentos de fibras e fragmentos destes foram feitas com objetiva de 3,2x, optovar de 1,25 x e ocular de 10 x. O número de amostras de acordo com o teste de N para 95 % de nível de confiança foi de 30. As medições dos traqueídeos foram feitas com objetiva de 3,2 x, optovar e 1,25 x e ocular de 0,8 x. De acordo com o teste N o número de medições foi de 150. As amostras foram identificadas sendo 1AB

referente ao primeiro reciclo, lado branco, amostra A; 1AP refere-se ao primeiro reciclo, lado pardo, amostra A e 5AP relaciona-se com o quinto reciclo, lado pardo, amostra A.

4.2.5 DELINEAMENTO ESTATÍSTICO

Para cada propriedade analisada, foram feitas três repetições para cada um dos cinco reciclos. Estes resultados foram tratados estatisticamente pela utilização da análise de variância e do teste Tukey, ambos com de nível de confiança de 95%.

O número de medições de comprimentos de fibras e traqueídeos foi feito com base no teste N conforme descritos no item 4.2.4 e posteriormente foram aplicados os testes de Anova e de Tukey também com níveis de confiança de 95 %.

O teste N utilizado é calculado pela seguinte expressão:

$$N = \frac{t^2 \cdot s^2}{E^2} \quad (1) \quad \text{onde,} \quad \begin{array}{l} N - \text{número de medições} \\ s^2 - \text{variância} \\ E^2 - \text{erro} \end{array}$$

$$E^2 = (0,1 \cdot \bar{X})^2 \quad (2) \quad \begin{array}{l} \bar{X} - \text{média dos valores} \\ t - \text{tabelado (distribuição t- student)} \end{array}$$

A análise de variância Anova e o teste de Tukey para os comprimentos de fibras foram feitos em software utilizado na Faculdade de Ciência Agronômicas de Botucatu – Polo Computacional do Lageado – Unesp.

As demais análises foram calculadas em planilhas de cálculo eletrônica.

5.0 RESULTADOS

Nas Tabelas de números 1 a 10 são apresentados os resultados dos ensaios físicos realizados nos cartões produzidos em laboratório e reciclados cinco vezes. A Tabela de número 11 mostra as umidades e gramaturas em cada reciclo e as Tabelas de números 12 a 14 resumem as medições de comprimento de fibras, traqueídeos e fragmentos destes já que o processo de repolpação e refino provocam o efeito de corte. As Tabelas de números 15 a 38 referem-se aos resultados das análises estatísticas efetuadas sobre os resultados apresentados. Anova e teste de Tukey foram analisados.

Tabela 1 - Volume específico aparente em função do número de reciclos.

VOLUME ESPECÍFICO APARENTE – cm ³ /g				
NÚMERO DE RECICLOS	A	B	C	MÉDIA
Reciclo 1	1,66	1,66	1,62	1,65
Reciclo 2	1,68	1,71	1,71	1,70
Reciclo 3	1,72	1,69	1,72	1,71
Reciclo 4	1,69	1,67	1,67	1,68
Reciclo 5	1,71	1,68	1,74	1,71

As letras A,B e C referem-se às três replicatas de cada experimento

Tabela 2 - Índice de tração em função do número de ciclos

ÍNDICE DE TRAÇÃO – Nm/g				
NÚMERO DE RECICLOS	A	B	C	MÉDIA
Reciclo 1	57,0	58,3	56,9	57,4
Reciclo 2	52,8	56,2	54,3	54,4
Reciclo 3	55,9	55,0	55,6	55,5
Reciclo 4	57,5	63,1	64,0	61,5
Reciclo 5	53,1	57,0	53,7	54,6

As letras A,B e C referem-se às três replicatas de cada experimento

Tabela 3 - Alongamento em função do número de ciclos

ALONGAMENTO– %				
NÚMERO DE RECICLOS	A	B	C	MÉDIA
Reciclo 1	2,5	2,6	2,8	2,7
Reciclo 2	2,5	2,5	2,4	2,5
Reciclo 3	2,7	2,8	2,8	2,8
Reciclo 4	2,6	2,9	2,6	2,7
Reciclo 5	2,1	2,4	2,4	2,3

As letras A,B e C referem-se às três replicatas de cada experimento

Tabela 4 - Índice de arrebetamento em função do número de reciclos

ÍNDICE DE ARREBENTAMENTO – kPa m ² /g				
NÚMERO DE RECICLOS	A	B	C	MÉDIA
Reciclo 1	3,6	3,6	3,6	3,6
Reciclo 2	3,3	3,2	3,3	3,2
Reciclo 3	3,2	3,1	3,1	3,1
Reciclo 4	3,3	3,4	3,4	3,4
Reciclo 5	3,1	3,1	3,0	3,1

As letras A,B e C referem-se às três replicatas de cada experimento

Tabela 5 - Índice de rasgo em função do número de reciclos

ÍNDICE DE RASGO – mNm ² /g				
NÚMERO DE RECICLOS	A	B	C	MÉDIA
Reciclo 1	13,2	12,9	13,6	13,2
Reciclo 2	11,6	12,6	11,7	11,9
Reciclo 3	9,8	9,6	10,1	9,8
Reciclo 4	8,4	8,7	8,6	8,6
Reciclo 5	8,0	7,5	8,1	7,9

As letras A,B e C referem-se às três replicatas de cada experimento

Tabela 6 - Rigidez Taber em função do número de ciclos

RIGIDEZ TABER – mNm				
NÚMERO DE RECICLOS	A	B	C	MÉDIA
Reciclo 1	2,46	2,37	2,21	2,34
Reciclo 2	2,21	2,06	2,04	2,11
Reciclo 3	2,38	2,45	2,20	2,34
Reciclo 4	2,34	2,15	2,19	2,23
Reciclo 5	2,24	2,31	2,50	2,35

As letras A,B e C referem-se às três replicatas de cada experimento

Tabela 7 - Dobras duplas em função do número de ciclos

DOBRAS DUPLAS – número de dobras				
NÚMERO DE RECICLOS	A	B	C	MÉDIA
Reciclo 1	651	647	608	635
Reciclo 2	292	340	268	300
Reciclo 3	169	246	238	217
Reciclo 4	165	224	171	187
Reciclo 5	165	119	139	141

As letras A,B e C referem-se às três replicatas de cada experimento

Tabela 8 - Resistência à delaminação em função do número de ciclos

DELAMINAÇÃO– Kg/cm ²				
NÚMERO DE RECICLOS	A	B	C	MÉDIA
Reciclo 1	5,90	5,78	6,12	5,93
Reciclo 2	5,58	5,48	5,50	5,52
Reciclo 3	5,78	5,78	5,26	5,61
Reciclo 4	4,20	4,50	4,22	4,31
Reciclo 5	4,58	5,08	4,32	4,66

As letras A,B e C referem-se às três replicatas de cada experimento

Tabela 9 - Permeância ao ar Gurley em função do número de ciclos

PERMEÂNCIA AO AR GURLEY – s/100 ml				
NÚMERO DE RECICLOS	A	B	C	MÉDIA
Reciclo 1	49,3	55,4	57,6	54,1
Reciclo 2	43,7	40,9	39,2	41,3
Reciclo 3	45,2	46,4	44,3	45,3
Reciclo 4	47,6	49,3	49,0	48,6
Reciclo 5	46,8	41,7	44,7	44,4

As letras A,B e C referem-se às três replicatas de cada experimento

Tabela 10 - Espessura em função do número de reciclós

NÚMERO DE RECICLOS	ESPESSURA – mm			
	A	B	C	MÉDIA
Reciclo 1	0,415	0,414	0,402	0,410
Reciclo 2	0,423	0,421	0,432	0,425
Reciclo 3	0,422	0,428	0,430	0,427
Reciclo 4	0,421	0,415	0,413	0,417
Reciclo 5	0,426	0,424	0,434	0,428

As letras A,B e C referem-se `as três replicatas de cada experimento

Tabela 11 – Gramaturas e umidades dos cartões em cada reciclo

	Gramatura em g/m ²			Umidade em %		
	A	B	C	A	B	C
Reciclo 1	250	250	247	7,6	8,0	8,0
Reciclo 2	252	245	253	8,3	7,9	8,0
Reciclo 3	245	253	250	7,8	7,9	7,8
Reciclo 4	250	248	247	7,6	7,1	7,0
Reciclo 5	249	253	249	7,8	7,6	7,8

As letras A,B e C referem-se `as três replicatas de cada experimento

Tabela 12 – Comprimentos de fibras das amostras 1AB, 1AP e 5 AP em mm.

N	5A	1A	1A	N	5A	1A	1A
01	0,757	0,957	0,760	16	0,825	0,770	0,740
02	0,640	0,935	1,135	17	0,757	0,870	0,885
03	0,692	0,942	0,482	18	0,912	0,987	0,820
04	0,870	0,995	0,907	19	0,902	1,267	1,147
05	1,047	0,955	1,530	20	0,842	0,820	0,977
06	0,800	0,780	1,105	21	0,662	0,965	1,030
07	0,815	0,677	1,042	22	0,675	0,830	0,642
08	0,722	0,707	0,737	23	0,745	1,217	0,525
09	1,012	0,580	0,650	24	0,657	1,030	0,862
10	0,812	0,965	0,912	25	0,847	0,820	1,102
11	0,685	1,055	0,890	26	0,810	0,740	0,812
12	1,302	0,692	0,845	27	0,692	1,087	1,090
13	0,602	0,825	1,027	28	0,840	1,010	0,682
14	0,492	1,122	0,997	29	1,135	0,880	0,742
15	0,732	0,855	0,427	30	0,920	0,890	0,695

Tabela 13 – Comprimentos de traqueídeos da amostra 1AP em mm

N		N		N		N		N	
01	2.8842	31	0.9500	61	2.2420	91	0.9766	121	1.2198
02	0.6460	32	0.5586	62	1.7214	92	1.8316	122	0.8284
03	0.6612	33	0.7258	63	1.6188	93	0.8094	123	1.0602
04	1.1742	34	0.8580	64	1.2958	94	1.0716	124	1.3870
05	0.5130	35	1.4706	65	1.0792	95	2.0938	125	0.7448
06	1.6112	36	1.3338	66	0.8588	96	0.5206	126	2.8082
07	1.2274	37	1.3148	67	1.8354	97	3.5150	127	0.8094
08	1.8848	38	0.9918	68	0.9196	98	0.8512	128	0.6422
09	2.4396	39	1.1552	69	1.2806	99	0.8968	129	1.0602
10	3.0666	40	1.0222	70	1.4250	100	0.9690	130	1.7860
11	1.5694	41	1.8506	71	0.8930	101	0.9424	131	1.1742
12	1.5200	42	1.1286	72	0.6498	102	0.9956	132	1.0526
13	0.8588	43	1.9418	73	1.3604	103	2.1584	133	1.1704
14	0.9424	44	2.8120	74	0.6726	104	3.5074	134	0.7714
15	1.4972	45	0.5510	75	1.3452	105	1.1784	135	4.7120
16	1.0602	46	1.2350	76	0.8322	106	1.4782	136	2.1812
17	4.1268	47	2.3560	77	2.8082	107	1.0868	137	0.9158
18	2.8272	48	3.0400	78	2.1622	108	1.2806	138	1.5846
19	1.8354	49	0.7448	79	1.0830	109	1.9038	139	1.3110
20	2.0710	50	5.6962	80	0.8702	110	0.8094	140	1.0716
21	1.4364	51	1.8924	81	1.2008	111	0.6650	141	1.7670
22	1.6796	52	1.8164	82	2.9032	112	1.8658	142	0.7714
23	1.7062	53	1.3111	83	1.2844	113	1.6910	143	1.9570
24	1.0906	54	0.7562	84	0.5624	114	1.0716	144	1.8012
25	1.1400	55	3.4048	85	0.4826	115	1.2844	145	0.6612
26	1.1362	56	2.8880	86	2.9184	116	0.6612	146	0.6232
27	1.5124	57	1.8202	87	0.5358	117	1.1172	147	0.5054
28	0.6346	58	0.7068	88	1.5390	118	0.5586	148	0.9804
29	2.6752	59	2.7588	89	2.2382	119	1.5276	149	2.1432
30	2.0140	60	1.9114	90	0.7600	120	1.0412	150	0.5472

Tabela 14 – Comprimentos de traqueídeos da amostra 5 AP em mm

N		N		N		N		N	
01	0,9994	31	0,4902	61	2,1090	91	2,3218	121	1,4250
02	2,4738	32	1,1742	62	0,3838	92	3,3744	122	1,8734
03	1,7670	33	0,5928	63	2,7778	93	0,6878	123	2,1508
04	1,4706	34	0,4902	64	1,0412	94	0,3800	124	3,7582
05	0,5548	35	1,9076	65	2,1660	95	0,5890	125	2,7360
06	1,4326	36	1,2502	66	1,3984	96	2,7968	126	1,0716
07	8,2004	37	0,4940	67	1,0336	97	1,5770	127	0,8018
08	2,5004	38	0,5814	68	0,6308	98	1,8924	128	2,0444
09	1,5846	39	1,1438	69	1,3794	99	3,3858	129	2,6296
10	2,7512	40	2,5080	70	1,9950	100	2,0102	130	3,6974
11	2,4814	41	2,6372	71	1,0146	101	1,8202	131	1,3186
12	2,7360	42	1,2274	72	1,9494	102	3,1730	132	1,2122
13	0,6232	43	0,4370	73	1,4516	103	1,1362	133	1,9760
14	0,5700	44	1,0070	74	1,2236	104	1,6796	134	1,6644
15	1,4820	45	0,9918	75	1,5086	105	3,2376	135	3,2186
16	1,6644	46	1,1058	76	2,2382	106	2,5346	136	2,3674
17	0,7220	47	2,2686	77	1,8278	107	1,0374	137	0,6574
18	0,6498	48	0,8892	78	1,0716	108	1,2692	138	1,6188
19	0,9348	49	1,3984	79	1,6074	109	2,7132	139	1,6834
20	0,8702	50	0,6004	80	1,5960	110	2,5232	140	2,1052
21	1,1970	51	1,4440	81	2,5194	111	1,5656	141	1,2198
22	0,5890	52	1,2806	82	2,1736	112	2,2496	142	1,7556
23	0,8056	53	2,2154	83	1,3376	113	1,3148	143	2,0824
24	1,4098	54	2,5118	84	2,0026	114	3,1616	144	1,8202
25	1,0792	55	2,6676	85	1,2274	115	1,9798	145	1,2996
26	0,3610	56	4,0508	86	1,7632	116	0,7980	146	3,3478
27	0,8284	57	2,2990	87	0,6840	117	2,8918	147	1,6948
28	0,8892	58	0,2432	88	2,0178	118	2,2800	148	2,2800
29	0,8816	59	1,7518	89	0,8930	119	0,6460	149	0,8626
30	1,2692	60	4,9514	90	2,1888	120	4,7272	150	0,6612

As médias dos comprimentos de fibras para as amostras 1AB, 1AP e 5 AP foram respectivamente $0,908 \pm 0,158$; $0,873 \pm 0,231$ e $0,807 \pm 0,165$ mm. Os comprimentos dos traqueídeos para as amostras 1AP e 5AP foram respectivamente $1,723 \pm 1,046$ e $1,485 \pm 0,860$ mm.

Tabela 15 - Anova aplicada ao volume específico aparente

	GL	SQ	s^2	F
Repetição	2	0,0002	0,0001	0,24 N.S.
Reciclo	4	0,0091	0,0023	4,83 *
Resto	8	0,0038	0,0005	
Total	14	0,0131		

Valor de F na tabela para nível de confiança de 95%: $4 \times 8 = 3,84$; $2 \times 8 = 4,46$ N.S.: não significativo. * significativo

Tabela 16 - Teste Tukey aplicado ao volume específico aparente

	X_5	X_4	X_3	X_2
X_4	0,0308	-	-	-
X_3	-0,0037	-0,0345	-	-
X_2	0,0067	0,0241	0,0104	-
X_1	0,0622	0,0313	0,0658	0,0555

Diferença mínima significativa para nível de confiança de 95 % = 0,061247928

X_i : Valor médio obtido no reciclo i.

Tabela 17 – Anova aplicada ao índice de tração

	GL	SQ	s^2	F
Repetição	2	17,86	8,93	3,17 N.S.
Reciclo	4	103,92	25,98	9,23 *
Resto	8	22,53	2,82	
Total	14	144,30		

Valor de F na tabela para nível de confiança de 95 %: $4 \times 8 = 3,84$; $2 \times 8 = 4,46$; N.S.: Não significativo; *: Significativo

Tabela 18 - Teste Tukey aplicado ao índice de tração

	X ₅	X ₄	X ₃	X ₂
X ₄	-6,90	-	-	-
X ₃	-0,89	6,02	-	-
X ₂	0,17	7,07	1,06	-
X ₁	-2,82	4,08	-1,94	-2,99

Diferença mínima significativa para nível de confiança de 95 % = 4,74

Xi: Valor médio obtido no reciclo i.

Tabela 19 - Anova aplicada ao alongamento

	GL	SQ	s ²	F
Repetição	2	0,07	0,03	2,85 N.S.
Reciclo	4	0,47	0,12	9,57 *
Resto	8	0,10	0,01	
Total	14	0,63		

Valor de F na tabela para nível de confiança de 95 % : 4 x 8 = 3,84 ; 2 x 8 = 4,46 ; N.S.: Não Significativo ; * Significativo

Tabela 20 - Teste Tukey aplicado ao alongamento

	X ₅	X ₄	X ₃	X ₂
X ₄	-0,43	-	-	-
X ₃	-0,48	-0,05	-	-
X ₂	-0,22	0,22	0,27	-
X ₁	-0,38	0,05	0,10	-0,17

Diferença mínima significativa para nível de confiança de 95 % = 0,31

Xi: Valor médio obtido no reciclo i.

Tabela 21 – Anova aplicada ao índice de arrebetamento

	GL	SQ	s^2	F
Repetição	2	0,0007	0,0004	0,1749 N.S.
Reciclo	4	0,5902	0,1476	71,5833 *
Resto	8	0,0165	0,0021	
Total	14	0,6075		

Valor de F na tabela para nível de confiança de 95 % : $4 \times 8 = 3,84$; $2 \times 8 = 4,46$: N.S. : Não significativo : * Significativo

Tabela 22 – Teste Tukey aplicado ao índice de arrebetamento

	X_5	X_4	X_3	X_2
X_4	-0,31	-	-	-
X_3	-0,07	0,25	-	-
X_2	-0,17	0,14	-0,11	-
X_1	-0,56	-0,24	-0,49	-0,38

Diferença mínima significativa para nível de confiança de 95 % = 0,13

X_i : Valor médio obtido no reciclo i.

Tabela 23 – Anova aplicada ao índice de rasgo

	GL	SQ	s^2	F
Repetição	2	0,13	0,07	0,51 N.S.
Reciclo	4	60,44	15,11	115,04 *
Resto	8	1,05	0,13	
Total	14	61,63		

Valor de F na tabela para nível de confiança de 95 % : $4 \times 8 = 3,84$; $12 \times 8 = 4,46$: N.S.: Não Significativo : * Significativo

Tabela 24 - Teste Tukey aplicado ao índice de rasgo

	X ₅	X ₄	X ₃	X ₂
X ₄	-0,70	-	-	-
X ₃	-1,95	-1,25	-	-
X ₂	-4,06	-3,36	-2,11	-
X ₁	-5,32	-4,62	-3,37	-1,26

Diferença mínima significativa para nível de confiança de 95 % = 1,02

Xi: Valor médio obtido no reciclo i.

Tabela 25 – Anova aplicada à rigidez Taber

	GL	SQ	S ²	F
Repetição	2	0,02	0,01	0,85 N.S.
Reciclo	4	0,14	0,03	2,38 *
Resto	8	0,12	0,01	
Total	14	0,28		

Valor de F na tabela para nível de confiança de 95 % : $4 \times 8 = 3,84$; $2 \times 8 = 4,46$; N.S.: Não significativo; * Não significativo

Tabela 26 - Teste Tukey aplicado à Rigidez Taber

	X ₅	X ₄	X ₃	X ₂
X ₄	0,13	-	-	-
X ₃	0,01	-0,12	-	-
X ₂	0,25	0,12	0,24	-
X ₁	0,01	-0,12	0,00	-0,24

Diferença mínima significativa para nível de confiança de 95 % = 0,34

Xi: Valor médio obtido no reciclo i.

Tabela 27 - Anova aplicada à resistência às dobras duplas

	GL	SQ	s ²	F
Repetição	2	2751,30	1375,65	1,41 N.S.
Reciclo	4	471983,34	117995,84	120,60 *
Resto	8	7827,55	978,44	
Total	14	482562,20		

Valor de F na tabela para nível de confiança de 95 % : 4 x 8 = 3,84 ; 2 x 8 = 4,46 ; N.S.: Não significativo ; * Significativo

Tabela 28 - Teste Tukey aplicado à resistência às dobras duplas

	X ₅	X ₄	X ₃	X ₂
X ₄	-45,87	-	-	-
X ₃	-76,67	-30,80	-	-
X ₂	-159,40	-113,53	-82,73	-
X ₁	-494,47	-448,60	-417,80	-335,07

Diferença mínima significativa para nível de confiança de 95 % = 88,31

Xi: Valor médio obtido no reciclo i.

Tabela 29 - Anova aplicada à resistência à delaminação

	GL	SQ	s ²	F
Repetição	2	0,14	0,07	1,26 N.S.
Reciclo	4	5,69	1,42	24,94 *
Resto	8	0,46	0,06	
Total	14	6,29		

Valor de F na tabela para nível de confiança de 95 % : 4 x 8 = 3,84 ; 2 x 8 = 4,46 ; N.S.: Não significativo ; * Significativo

Tabela 30 – Teste Tukey aplicado à resistência à delaminação

	X ₅	X ₄	X ₃	X ₂
X ₄	0,35	-	-	-
X ₃	-0,95	-1,30	-	-
X ₂	-0,86	-1,21	0,09	-
X ₁	-1,27	-1,63	-0,33	-0,41

Diferença mínima significativa para nível de confiança de 95 % = 0,67

Xi: Valor médio obtido no reciclo i.

Tabela 31 - Anova aplicada à permeância ao ar

	GL	SQ	s ²	F
Repetição	2	0,44	0,22	0,03 N.S.
Reciclo	4	286,32	71,58	8,93 *
Resto	8	64,15	8,02	
Total	14	350,91		

Valor de F na tabela para nível de confiança de 95 % : 4 x 8 = 3,84 ; 2 x 8 = 4,46; N.S.: Não Significativo ; * Significativo

Tabela 32 – Teste Tukey aplicado à permeância ao ar

	X ₅	X ₄	X ₃	X ₂
X ₄	-4,19	-	-	-
X ₃	-0,89	3,30	-	-
X ₂	3,15	7,34	4,04	-
X ₁	-9,71	-5,52	-8,82	-12,86

Diferença mínima significativa para nível de confiança de 95 % = 7,99

Xi: Valor médio obtido no reciclo i.

Tabela 33 - Anova aplicada à espessura

	GL	SQ	s^2	F
Repetição	2	0,0000069	0,0000034	0,0925 N.S.
Reciclo	4	0,0006885	0,0001721	4,64 *
Resto	8	0,002964	0,0000370	
Total	14	0,009917		

Valor de F na tabela para nível de confiança de 95 % : $4 \times 8 = 3.84$; $2 \times 8 = 4.46$; N.S. : Não significativo ; *Significativo

Tabela 34 - Teste Tukey aplicado à espessura

	X_5	X_4	X_3	X_2
X_4	0,01	-	-	-
X_3	0,00	-0,01	-	-
X_2	0,00	-0,01	0,00	-
X_1	0,02	0,01	0,02	0,01

Diferença mínima significativa para nível de confiança de 95 % = 0.02

X_i : Valor médio obtido no reciclo i .

Tabela 35 – Anova aplicada aos comprimentos de fibras e fragmentos. Amostras 1AP,1AB e 5 AP.

	GL	SQ	s^2	F
Amostras	2	0,15723389	0,07861694	2.23 N.S.
Resto	87	3,06057417	0,03517901	
Total	89	3.21780806		

Valor de F na tabela para nível de confiança de 95 % : 2×87 : foi utilizado software estatístico: Comparativo entre amostras

1AP,1AB,5AP. N.S. : Não significativo

Tabela 36 – Teste Tukey aplicado ao comprimento de fibras e fragmentos. Amostras 1AP, 1AB e 5 AP.

	1AP	1AB
1AP	-	-
AB	0,03417	-
5AP	0,10067	0,0665

Diferença mínima significativa para nível de confiança de 95 % = 0,1155

Tabela 37 – Anova aplicada ao comprimento traqueídeos e fragmentos. Amostras 1AP e 5AP.

	GL	SQ	s ²	F
Repetição	1	4,214429	4,2144229	4,60 *
Resto	298	273,22549	0,916864	
Total	299	277,4399		

Valor de F na tabela para nível de confiança de 95 % : 1 x 298 : foi utilizado software estatístico: Comparativo entre amostras 1AP,5AP. * Significativo

Tabela 38 – Teste Tukey aplicado ao comprimento de traqueídeos e fragmentos - Amostra 1AP e 5 AP.

	1AP
1AP	-
5AP	0,2371 *

Diferença mínima significativa para nível de confiança de 95 % = 0,2176

* significativo.

6.0 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1 Volume específico aparente, espessura e rigidez Taber

De acordo com a análise estatística, tanto pela ANOVA como pelo teste de Tukey, pode-se dizer com uma segurança de 95% que o volume específico aparente dos cartões praticamente não se altera quanto ao número de ciclos. Esta constância do volume específico aparente está diretamente ligada à não variação dos resultados tanto de espessura como de rigidez Taber que também, de acordo com a análise estatística, não mostraram variações significativas.

A rigidez é uma das propriedades funcionais mais importantes do papel e sobretudo do cartão. A principal aplicação do cartão é a fabricação de embalagens rígidas cujas características de resistência dependerão do projeto da própria caixa e do processo de fabricação.

Há vários trabalhos que mostram a tendência de aumento do volume específico aparente devido ao efeito de hornificação das fibras que ocorre durante a reciclagem (Howard, 1990; Bugajer, 1976). À primeira vista, os resultados obtidos contrariam estes resultados, no entanto, analisando o trabalho de Bugajer (1976), vê-se que o aumento do volume específico aparente ocorreu apenas para pastas recicladas sem refino, enquanto que para as pastas refinadas, a cada ciclo de reciclagem, os valores mantiveram-se constantes concordando com os resultados obtidos neste experimento.

Sabe-se que o refino aumenta o grau de entrelaçamento das fibras; logo, o módulo de elasticidade do papel que, por sua vez, cresce com o aumento do tempo de refino, mas ao mesmo tempo, faz com que a estrutura fibrosa seja compactada, fazendo a estrutura diminuir. O resultado líquido é que no início do refino a rigidez aumenta com o refino até chegar a um valor máximo a partir do qual começa diminuir.

Deve-se, entretanto, considerar que neste experimento, houve inserção de fibras virgens a cada reciclo e é sabido que a composição fibrosa afeta o módulo de elasticidade do papel. Como não se observou alterações significativas desta propriedade

ao contrário do que foi observado por outros pesquisadores para papéis monocamadas, conclui-se que este pode ter sido um dos fatores que influenciou este tipo de resultado.

Outro fato importante de ser ressaltado é que o experimento foi conduzido sem prensagem, e esta operação provoca efeitos significativos na espessura do cartão. Koning (1979) comenta que o aumento da prensagem provoca diminuição do volume específico aparente e da espessura.

Baseando-se nos resultados do experimento de Bugajer (1976) que foi realizado com prensagem, pode-se concluir que a constância destas três propriedades não estão relacionadas à ausência de prensagem, mas à ação suave do refino que as pastas receberam durante cada ciclo de reciclagem, somada à adição de fibras virgens na receita de cada novo ciclo, que garantiram que estas formulações apresentassem cada vez maiores quantidades de fibras e traqueídeos com maior flexibilidade, diminuindo desta forma o efeito da hornificação.

6.2 Índices de tração e arrebentamento

Nos três primeiros ciclos, conforme mostram os resultados da análise estatística, não houve variação significativa para o índice de tração, porém, a partir do quarto ciclo, houve um aumento deste valor, voltando aos patamares originais no quinto como mostra a Figura 9.

Se compararmos estes resultados com os obtidos por Bugajer (1976) que trabalhou com pasta kraft industrial e fibras recicladas na proporção de 85 % de coníferas e 15 % de folhosas e com os de Ferguson (1992) que trabalhou com pastas kraft e de alto rendimento, verifica-se que o mesmo comportamento mostrado na Figura 9 também ocorreu.

O trabalho de Ferguson mostra que houve um aumento inicial na resistência à tração, voltando aos valores iniciais após o quinto ciclo, havendo um novo aumento entre o quinto e o décimo ciclo.

Figura 9 - Índice de tração versus número de reciclos

Este fenômeno de aumento de resistência após o quarto reciclo também ocorre com o índice de arrebentamento, como exemplifica a Figura 10.

Figura 10 - Índice de arrebentamento versus número de reciclos

Ferguson (1992) acredita que, para ambos os casos a explicação está relacionada com o aumento da pressão osmótica que ocorre na parede celular devido ao meio alcalino durante o processo de polpação, o que permitiria que a fibra absorvesse

mais água tornando-se mais flexível. Isto, no entanto, não explica a queda destes índices nos primeiros ciclos. O índice de arrebentamento teve uma queda brusca significativa do primeiro para o segundo ciclo, mantendo este valor durante o terceiro, mostrando uma variação não significativa de acordo com o teste de Tukey e aumentando significativamente no quarto com posterior queda no quinto.

Ferguson (1992) concluiu que, ao serem recicladas, pastas kraft perdem sua resistência ao arrebentamento enquanto pastas de alto rendimento tendem a ganhar. Nos experimentos realizados por este pesquisador, misturas de pastas kraft com pastas CTMP tiveram queda até o terceiro ciclo, recuperando a propriedade a partir daí. Já nos experimentos realizados por Bugajer (1976), o papel refinado em moinho Valley mostrou, a partir do terceiro ciclo, uma queda na resistência à tração que estava em ascensão.

Sacon et al. (1995) trabalharam com misturas de pastas e concluíram que quando fibras de pinus são misturadas às de eucalipto, consegue-se incrementar favoravelmente o índice de arrebentamento, sem provocar alterações no índice de tração.

Neste experimento, observou-se a queda brusca do índice de arrebentamento nos primeiros ciclos, como ilustra a Figura 10. Cabe salientar que este comportamento não ocorre com o índice de tração, como visto na Figura 9.

Sabe-se que os traqueídeos, tanto pelo seu comprimento como pela sua flexibilidade, contribuem para aumentar a trama entre as fibras de uma pasta. Assim, como nos primeiros ciclos há mais traqueídeos que nos últimos, o comportamento mostrado pelo índice de arrebentamento nos permite notar que este índice é bastante influenciado tanto pelo comprimento como pela quantidade de traqueídeos no cartão.

O fato que também deve ser ressaltado é que tanto no caso da resistência à tração como do arrebentamento, com ciclos, os resultados mantêm as mesmas tendências quando não houve inserção de fibras virgens na receita.

Assim, as variações cíclicas da resistência mecânica dos cartões reciclados merece um estudo mais aprofundado, principalmente devido à crescente tendência a se reciclar mais os papéis e cartões.

6.3 Alongamento

O alongamento é uma importante propriedade para os cartões, pois conferem às embalagens maior capacidade de absorverem energia sob impacto antes de se romperem.

Os experimentos aqui relatados mostraram que os resultados de alongamento só começam a ter uma redução significativa a partir do quarto reciclo. Howard (1990) e Mc Kee citado por Bugajer (1976) dizem que esta propriedade tende a diminuir com a reciclagem, o que poderia ter acontecido, só que a quantidade adicionada de pasta de pinus vem mais uma vez favorecer o alongamento. Esta conclusão se apoia no fato de que Sacon et al. (1995) trabalhando com misturas de pastas refinadas em moinho Jokro até valores de resistência à drenagem entre 25 e 40 °SR, observaram que para pastas de eucalipto os valores de alongamento eram menores que para as de pinus, sendo que misturas destas pastas exibiram valores intermediários entre aqueles apresentados para as fibras de pinus e de eucalipto.

Estes resultados mostram que há uma relação entre o alongamento e o tipo de fibra presente no papel, entretanto, não se pode afirmar que esta relação é simplesmente devido ao comprimento dos traqueídeos ou das fibras por duas razões: A primeira é que o refino em moinho Jokro corta muito mais o material fibroso que o refino no moinho Valley e a segunda, é que nos experimentos aqui relatados, não houve ganho na resistência ao rasgo com a adição de pasta de pinus, embora fosse um efeito que era esperado, já que a resistência ao rasgo é favorecida quando se tem a presença de fibras longas. Isto pode ter sido o resultado do corte das fibras no moinho Jokro.

Logo, se as fibras estão mais cortadas, o aumento observado nos resultados de alongamento pode estar relacionado a outros fatores tais como, um aumento nas ligações entre fibras e menor perda de flexibilidade que é beneficiada pela presença de fibras novas inseridas em cada ciclo de reciclagem.

Figura 11 - Alongamento versus número de reciclos

6.4 ÍNDICE DE RASGO

O índice de rasgo, como mostra a Figura 12, caiu de maneira contínua conforme aconteceram os reciclos. Apenas do quarto para o quinto reciclo a queda não foi significativa. Este fato ocorreu devido ao corte dos traqueídeos que mostraram uma variação significativa nos seus comprimentos e fragmentos destes em função do reciclo. A média dos comprimentos dos traqueídeos nas amostras formadas no reciclo 1 e 5, listados nas Tabelas 13 e 14 passaram de $1,723 \pm 1,046$ para $1,485 \pm 0,860$ mm, o que representa uma redução de cerca de 14 %.

Howard (1990) diz que é aceito de forma genérica que o rasgo aumenta com a reciclagem o que discordam dos dados levantados neste trabalho. Por outro lado, cabe recordar que McKee, citado por Howard (1990), diz que, durante o reciclo, o rasgo tende a um valor máximo antes de começar a cair. Também Chatterjee et al., citados por Ferguson (1992), que obtiveram dados decrescente de resistência ao rasgo em função do reciclo.

Ratnieks et al. (1995) dizem que o rasgo é uma propriedade que está intrinsecamente mais associada às dimensões das fibras sendo que a presença de fibras longas na mistura faz com que os seus valores de índice de rasgo predomine.

Cabe ainda lembrar que Ferguson (1992) mostrou que pastas kraft tendem a ter um aumento do índice de rasgo com a reciclagem, enquanto pastas mecânicas não se alteram, CTMP mostram diminuição e misturas CTMP 50% / kraft 50% atingem um máximo caindo a partir do terceiro reciclo.

Figura 12 - Índice de rasgo versus número de reciclos

A queda no índice de rasgo no experimento foi, portanto, devida à diminuição da quantidade de traqueídeos e à fragmentação destes e não em função da perda de ligação devido à reciclagem. A inserção de fibras virgens de eucalipto a cada reciclo tem influência nesta queda, pois tomam o lugar dos traqueídeos. Apesar de serem fibras novas e mais flexíveis, por serem mais curtas favorecem a queda da resistência ao rasgo.

6.5 Resistência às dobras duplas

Na Figura 13 vê-se que ocorre nos valores de resistência às dobras duplas uma queda significativa no primeiro como no segundo reciclo, sendo mais brusca no

primeiro. Após o terceiro reciclo, o efeito da reciclagem não causa mais variações significativas.

Cabe lembrar que Howard (1990) comenta que é aceito de um modo geral que com a reciclagem há queda na resistência às dobras duplas. Entretanto, poucos autores têm investigado esta característica do papel ou do cartão frente ao reciclo. Os resultados aqui obtidos podem ser explicados pelo que também é mostrado pela literatura quando se diz que o efeito da hornificação contribui para deixar as fibras mais rígidas influenciando negativamente na resistência à dobras, pois fibras mais rígidas absorvem menos energia, apresentam menores áreas de contato entre si, prejudicando o entrelaçamento entre fibras e conseqüentemente têm maior probabilidade de se quebrarem.

Figura 13 – Resistência às dobras duplas versus número de reciclos

6.6 Permeância ao ar

A Figura 14 mostra os dados de permeância ao ar em função dos ciclos de reciclagem. Pela análise estatística dos dados, tem-se que só há diferença significativa entre os valores obtidos no primeiro e no segundo reciclo, o que indica que a reciclagem favoreceu uma folha mais porosa. Por outro lado, Sacon et al. (1995) verificaram que

misturas de pastas de pinus e eucalipto apresentavam maiores resistências à passagem de ar que as pastas individuais tanto de eucalipto como de pinus.

De acordo com estes pesquisadores, este fenômeno pode ter ocorrido devido ao fato de que muitas fibras de eucalipto preencherem os espaços entre os traqueídeos causando o fechamento da folha.

A queda observada do primeiro para o segundo reciclo deve estar mais relacionada com a não recirculação dos finos durante a fabricação da folha do que aos tipos de fibras presentes. No entanto, a partir do quarto reciclo, há uma tendência de fechamento da folha, seguindo o mesmo comportamento das resistências à tração e ao arrebentamento que pode ser devido à presença de fibras de eucalipto preenchendo os espaços entre os traqueídeos e favorecendo o fechamento da folha.

Cabe lembrar que quanto maior a permeância ao ar, ou seja, menor é a resistência à passagem de ar, mais fácil é a secagem do papel ou cartão, o que é uma vantagem tanto em termos tecnológicos como econômicos. Por outro lado, uma folha mais fechada favorece a qualidade de impressão e consome menos tinta de revestimento

Figura 14 - Permeância ao ar versus número de reciclos

6.7 Resistência à delaminação

A variação da resistência à delaminação entre as camadas dos cartões com os reciclados é apresentada na Figura 15. Pela análise estatística tem-se que não houve variação entre os resultados obtidos nos três primeiros reciclados, havendo uma queda significativa no quarto e mantendo-se constante no quinto.

Figura 15 - Resistência à delaminação versus número de reciclados

A resistência à delaminação sofre forte influência do teor seco em que as camadas são unidas. De acordo com minhas observações em processos produtivos, quanto mais úmida a folha estiver no momento da união, maiores serão os valores para a resistência à delaminação. Este efeito está relacionado com as ligações entre fibrilas que se tornam mais escassas à medida que se seca o cartão. O fenômeno de hornificação pode diminuir a interação entre fibras provocando quedas durante a reciclagem. A Figura 15 mostra que este efeito se acentuou após o terceiro reciclado. Nos primeiros reciclados, a quantidade de fibras virgens pouco hornificadas favoreceu a constância da propriedade.

6.8 Comprimento de fibras, traqueídeos e fragmentos.

Na Figura 16 têm-se os valores dos comprimentos médios das fibras, traqueídeos e fragmentos destes em função do número de reciclos. A análise estatística dos dados mostram que não houve variações significativas para os comprimentos de fibras entre o primeiro e o quinto reciclo, o mesmo não ocorrendo com os comprimentos dos traqueídeos que variaram significativamente reduzindo entre 13 e 14 % o seu comprimento devido aos cortes durante o refino e desagregação em cada ciclo.

(1AB - F : Fibras no lado branco, reciclo 1; 1 AP - F : fibras no lado pardo, reciclo 1 ; 5AP - F : fibras no lado pardo, reciclo 5; 1 AP - T: traqueídeos no lado pardo, reciclo 1; 5 AP - T : traqueídeos no lado pardo, reciclo 5).

Figura 16 - Comprimentos de fibras e traqueídeos

Apesar de não terem significância do ponto de vista estatístico, a Figura 16 mostra um leve decréscimo nos comprimentos de fibras entre o primeiro e o quinto reciclo. O fato destas variações não terem significância estatística devem-se ao fato de a cada ciclo serem inseridas novas fibras no verso do cartão provenientes do forro da etapa anterior; já os traqueídeos, devido à não substituição e à ação do corte durante a desagregação e o refino, apresentaram queda em seu comprimento. As alterações ocorridas nos traqueídeos contribuíram para que ocorressem alterações significativas em características como o rasgo e índice de arrebetamento.

6.9 Comparativo entre cartões do mercado brasileiro e amostras confeccionadas em laboratório.

Os cartões obtidos no mercado brasileiro e analisados neste trabalho (Anexo 1) apresentaram gramaturas na base seca entre 229 e 270 g/m² o que permite que se faça comparações com os preparados em laboratório que apresentaram valores médios de gramaturas em torno de 250 g/m². Cabe informar que os cartões denominados A e B (Anexo 1) são utilizados para fabricação de embalagens cartonadas tipo longa vida.

O volume específico aparente mostrado na Figura 17, embora seja uma característica bastante relacionada às cargas usadas na prensagem, possuem aplicações que permitem uma faixa bastante ampla (1,3 a 1,8 cm³/g), embora esta seja uma característica bastante relacionada às cargas usadas na prensagem.

Figura 17 - Volume específico aparente de cartões do mercado brasileiro e fabricados em laboratório.

Comparando-se estes números com a média geral obtida nos experimentos de reciclagem, a qual foi de $1,69 \pm 0,04$ cm³/g, vê-se que os valores obtidos em laboratório estão compatíveis com os dados industriais e seriam aceitos no mercado. O

valor ligeiramente maior não é apenas devido à ausência de prensagem nas amostras de laboratório, já que as fibras presentes nas embalagens longa vida contribuem para estes valores mais altos. Os cartões A e B apresentam valores mais elevados para o volume específico aparente que os demais, o que mostra que o uso de fibras provenientes de embalagens longa vida deverá favorecer esta propriedade. Em cartões de laboratório, o volume específico aparente manteve-se constante, isto indica que cartões fabricados com capa de celulose de fibra curta e utilizando-se fibras de embalagens longa vida no verso, não terá perdas de volume específico aparente ainda que seja reciclado até cinco vezes.

A resistência à dobras duplas mostrou-se expressiva apenas para os cartões A e B, enquanto que os demais apresentaram valores muito baixos como mostra a Figura 18. Esta diferença deve-se à aplicação que é dada a cada cartão e pode estar relacionado com o tipo de matéria-prima, já que os cartões A e B são compostos de fibras kraft de pinus virgens. Com relação aos cartões elaborados em laboratório, vê-se na Figura 7, que a resistência à dobras diminui ao longo da reciclagem, podendo ser esta diminuição causada pela redução dos comprimentos dos traqueídeos somados ao efeito de corte durante o refino.

Figura 18 – Dobras duplas de cartões do mercado brasileiro e fabricados em laboratório.

Os cartões de C a F são fabricados com fibras de eucalipto, fibras secundárias, ou uma mistura delas. Portanto, a utilização de fibras de embalagens cartonadas elevará a resistência à dobras de cartões convencionais apesar da queda devido a sucessivos ciclos. Os dados obtidos em laboratório variaram de 635 ± 24 dobras para o primeiro ciclo até 140 ± 23 dobras para o quinto, bastante acima dos apresentados pelos cartões de C a F, cujas médias geométricas entre a longitudinal e transversal da folha variaram de 37 a 102 dobras.

O alongamento é uma propriedade que possui diferenças bastante significativas ao se comparar o sentido transversal e longitudinal referentes à direção de fabricação da folha. Para que seja possível a comparação com as amostras produzidas em laboratório, que não possuem direcionamento de fibras, assume-se a média geométrica entre os dados na transversal e na longitudinal da folha. As amostras de mercado apresentaram médias geométricas entre 5 e 5,6 %.

O alongamento medido para os cartões A e B foram ligeiramente menores comparados aos outros cartões. Os resultados de laboratório refletiram esta tendência apresentando valores entre $2,3 \pm 0,2$ e $2,8 \pm 0,1$ %. A utilização de fibras de embalagens cartonadas tipo longa vida em versos de cartões multicamadas que utilizem fibras curtas na capa contribuirá para cartões com menores alongamentos, devendo esta propriedade ser monitorada durante o processo de fabricação, sendo recomendável um acompanhamento da funcionalidade da embalagem produzida.

Valores de índice de tração de cartões de mercado são mostrados na Figura 20 e apresentam as médias geométricas entre 35 e 53 Nm/g, enquanto que os valores das amostras de laboratório apresentaram valores entre $54,6 \pm 3,3$ e $61,5 \pm 4,8$ Nm/g, estando desta forma acima dos valores encontrados no mercado. Os cartões A e B apresentam índices de tração superiores aos demais cartões do mercado, desta forma, cartões que possuem no seu verso ou miolo aparas de embalagens longa vida apresentarão maiores valores de índice de tração, sendo que estes valores poderão ser mantidos sem grandes perdas até pelo menos ao quinto ciclo.

Figura 19 - Alongamento de cartões do mercado brasileiro e fabricados em laboratório.

Figura 20 - Índice de tração de cartões do mercado brasileiro e fabricados em laboratório.

O índice de rasgo, cujos valores encontrados em cartões de mercado estão na Figura 21, da mesma forma que a resistência às dobras duplas, têm uma forte relação com o tipo de fibra utilizada na fabricação do cartão. Assim, como os cartões A e B, que

são fabricados de pasta kraft virgem de pinus, é natural que apresentem maiores valores para o índice de rasgo.

Esta propriedade apresenta menor influência do tipo de fibra no sentido de fabricação da folha, porém há uma tendência de maiores valores no sentido transversal da máquina de papel. Isto ocorre da mesma forma que o alongamento, mas ao contrário do índice de tração e da resistência à dobras.

Com o direcionamento na máquina de papel, as fibras ao serem ensaiadas são solicitadas de forma diferente. Enquanto no sentido de máquina a tendência é de se quebrar as fibras. Ao se ensaiar na transversal, a resistência é maior a separação de fibras que se encontram juntas, lado a lado. Este mesmo efeito ocorre com o alongamento. Os cartões A e B apresentaram médias geométricas de 16,6 e 20,4 mNm^2/g , enquanto que os cartões de C a F mostraram valores entre 6 e 8 mNm^2/g . Os valores obtidos em laboratório ($7,9 \pm 0,4$ a $13,2 \pm 1,0 \text{ Nm}^2/\text{g}$) mostram que o uso de fibras provenientes de embalagens longa vida aumentam também o índice de rasgo.

Figura 21 – Índice de rasgo de cartões do mercado brasileiro e fabricados em laboratório.

Os valores de resistência ao arrebentamento para cartões encontrados no mercado estão na Figura 22 e apresentam poucas variações com relação ao lado em que

o cartão é ensaiado. Em alguns cartões, o lado de ensaio favoreceu o teste, mas em outros, o comportamento foi o inverso. Os valores apresentados pelos cartões C a F variaram de 1,9 a 2,1 kPam²/g. Os cartões de laboratório apresentaram valores acima destes dados ($3,1 \pm 0,2$ a $3,6 \pm 0,2$ kPam²/g) apesar da queda sofrida no processo de reciclagem, refletindo os valores mais altos apresentados pelos cartões A e B (2,7 a 3,6 kPam²/g), desta forma, o uso de fibras de embalagens tipo longa vida favorece maiores valores para o índice de arrebetamento.

Figura 22 – Índice de arrebetamento de cartões do mercado brasileiro e fabricados em laboratório.

A resistência à delaminação está bastante relacionada ao processo de fabricação, mas os cartões do mercado apresentam valores entre 4 e 6,5 Kg/cm², enquanto os dados de laboratório mostraram valores de $4,3 \pm 0,7$ a $5,9 \pm 0,6$ Kg/cm², estando desta forma dentro dos padrões exigidos pelo mercado. Neste caso os cartões A e B apresentaram valores dentro da mesma faixa dos demais cartões.

A delaminação dos cartões do mercado brasileiro possuem algumas variações que podem ser devidas ao processo de fabricação. Em geral, na indústria, utiliza-se a aplicação de uma solução de amido para aumentar a adesão entre as diversas

camadas. O amido é aplicado cru em uma suspensão em água. Ao passar pela bateria de secadores ocorre o cozimento deste que se comportará como ligante.

Quando se efetua a união das camadas na seção de formação estes valores tendem a apresentar-se maiores, muitas vezes não necessitando a aplicação de amido. Há processos, porém que a união destas camadas é efetuada na seção de prensagem, o que não é recomendável, pois uma vez que a folha já está consolidada diminuem as interações entre fibras, sendo necessária a aplicação de amido. Existe ainda uma desvantagem no uso de amido, pois de acordo com minha experiência em produção de cartões multifolhados industrialmente, o excesso deste produto acarreta a delaminação das camadas quando estas são expostas por um período mais longo em contato com o secador, como por exemplo, no cilindro monolúcido.

Figura 23 - Resistência à delaminação de cartões do mercado brasileiro e fabricados em laboratório.

Os cartões obtidos em laboratório foram elaborados sem a inserção de amido, e após a aplicação de vácuo, simulando uma adesão de camadas no rolo de sucção. Os valores apresentados são bastante satisfatórios, variando entre $4,3 \pm 0,7$ e $5,9 \pm 0,6$ Kg/cm² se comparados aos valores de mercado que situaram-se entre 4,7 e 5,8

Kg/cm² devendo-se ressaltar que os valores de laboratório podem ser maiores em caso de aplicação de amido.

A rigidez Taber possui influência do sentido de fibras apresentando maiores valores no sentido longitudinal. Os valores desta propriedade para cartões de mercado estão na Figura 24 e mostram que as médias geométricas dos valores obtidos dos cartões do mercado encontram-se entre 4,9 e 11,5 mNm, enquanto que os dados de laboratório apresentaram média de $2,3 \pm 0,2$ mNm, portanto, um valor bastante abaixo dos padrões de mercado. Estes valores preocupam do ponto de vista da utilização das fibras de embalagens cartonadas na fabricação de cartões para caixas que necessitam de rigidez. Esperava-se valores maiores já que os cartões usados na fabricação destas embalagens possuem alta rigidez como pode ser visto na tabela 43 do anexo 1 e na Figura 24. A razão para os baixos valores podem ser em função da fibra branqueada usada na capa ou do próprio processo de reciclagem. Poder-se-ia comparar as características de cartões monocamadas fabricados apenas com fibras de embalagens cartonadas, porém não é o objetivo deste trabalho devendo esta característica ser alvo de próximos estudos.

Figura 24 – Rigidez Taber de cartões do mercado brasileiro e fabricados em laboratório.

A permeância ao ar de cartões do mercado são com exceção do cartão A superiores a 1800 s/100 ml devido ao revestimento que estes cartões recebem, não sendo pertinente portanto sua comparação com os dados obtidos em laboratório.

7.0 CONCLUSÕES

Com a aplicação dos ciclos de reciclagem observou-se que as tendências dos resultados de resistência à dobras duplas, índice de tração, índice de arrebentamento e alongamento, elas são mantidas de forma análoga àquelas de papéis reciclados monocamada e sem adição de tipos diferentes de pastas. O mesmo ocorre quanto ao número de vezes que as fibras foram recicladas.

O índice de rasgo, a rigidez Taber e o volume específico aparente mostraram comportamentos diferentes do usualmente observado na literatura para tais papéis.

Quanto à resistência à delaminação, não se encontrou referências quanto à influência da reciclagem nesta característica para cartões multifolhados, entretanto, verificou-se que os valores observados ficaram dentro da faixa exibida pelos cartões de mercado.

Com os ciclos, incluindo a operação de refino, ocorreu o corte dos traqueídeos, confirmando aquilo que a literatura já apresenta, ou seja, há influência do comprimento das fibras nas resistências ao rasgo e às dobras. Entretanto, o que se observou a mais é que a influência da diminuição dos traqueídeos quando comparado à que ocorre com outros tipos de fibras, acontece de forma mais acentuada para estas propriedades.

Já a inserção de fibras virgens de eucalipto a cada ciclo ameniza os efeitos do corte sobre os traqueídeos, pois praticamente está se repondo as fibras cominuídas de eucalipto por fibras virgens. Além disso, a adição de fibras novas contribui para reduzir o efeito da hornificação(perda de flexibilidade das fibras). Isto retarda a queda de algumas propriedades tais como o alongamento e a delaminação ao decorrer dos ciclos, mas este mesmo efeito não beneficia os resultados de resistência ao rasgo.

O volume específico aparente, a rigidez Taber e a espessura não variaram durante os ciclos de reciclagem. O leve refino que é aplicado sobre as fibras recupera suas propriedades, concordando com o que diz a literatura, entretanto a inserção de novas fibras ajuda a amenizar o efeito da hornificação, não deixando degradar estas propriedades.

Os índices de tração e arrebentamento apresentam comportamentos cíclicos, sendo que o de arrebentamento é mais influenciado tanto pela diminuição da quantidade de traqueídeos como pelo efeito de corte durante a desagregação e o refino.

A permeância ao ar, assim como a resistência ao rasgo, diminuem com o corte e redução da quantidade de traqueídeos no cartão. A redução da permeância ao ar é bom que aconteça, pois contribui para a qualidade de impressão e reduz o consumo de tinta de revestimento, enquanto a redução da resistência ao rasgo não é boa em termos de desempenho por exemplo, numa embalagem.

Quando se compara os efeitos de reciclagem com as propriedades de cartões de mercado, tem-se que o uso de fibras provenientes de embalagens cartonadas do tipo longa vida elevam as resistências à dobras, os índice de tração, arrebentamento e

rasgo, provocando por outro lado a diminuição do alongamento e da rigidez Taber. Em termos de embalagens, o parâmetro crítico torna-se assim a rigidez, pois esta está diretamente ligada à resistência ao empilhamento.

Assim, pode-se dizer que as características dos cartões fabricados com celulose de fibra curta virgem na capa e fibras de embalagem longa vida no verso e miolo, mesmo que reciclados até cinco vezes, mantêm-se dentro dos parâmetros exigidos pelo mercado brasileiro de embalagens com a exceção da rigidez Taber e do alongamento.

Entretanto, os valores menores de rigidez não chegam a inviabilizar o uso técnico destes cartões, devendo-se simplesmente direcioná-los à fabricação de embalagens que não sejam submetidas a condições drásticas de empilhamento.

ANEXO I

Os cartões analisados a seguir foram obtidos de empresas que fabricam industrialmente, sendo que a composição de cada produto analisado está descrita a seguir:

Cartão A : Cartão revestido, fabricado com pasta celulósica de pinus branqueada no forro e não branqueada no verso. É utilizado na fabricação de embalagens cartonadas do tipo longa vida.

Cartão B : Cartão não revestido, fabricado com pasta celulósica de pinus branqueada no forro e não branqueada no verso. É utilizado na fabricação de embalagens cartonadas do tipo longa vida.

Cartão C : Cartão revestido fabricado com pasta celulósica de eucalipto branqueada no forro, pasta celulósica de eucalipto não branqueada no verso e aparas no miolo.

Cartão D : Cartão revestido fabricado com aparas de fibras curtas brancas no forro e aparas marrom no miolo e no verso.

Cartão E : Cartão revestido fabricado de celulose virgem branqueada no forro e aparas marrom no miolo e no verso.

Cartão F : Cartão revestido fabricado de pasta celulósica de eucalipto branqueada no forro e aparas marrom no miolo e no verso.

Tabela 39 - Índice de arrebentamento de cartões do mercado brasileiro

CARTÕES DO MERCADO	ÍNDICE DE ARREBENTAMENTO – kPa m ² /g	
	Lado branco	Lado pardo
A	3,1	2,7
B	3,6	3,1
C	2,1	2,1
D	2,0	1,9
E	2,3	2,6
F	2,0	2,0

Tabela 40 - Índice de tração de cartões do mercado brasileiro

CARTÕES DO MERCADO	ÍNDICE DE TRAÇÃO – Nm/g		
	Longitudinal	Transversal	Média Geométrica
A	67,0	41,8	52,9
B	69,8	34,8	49,3
C	57,7	32,4	43,2
D	57,6	22,4	35,9
E	66,5	33,8	47,4
F	62,0	28,2	41,8

Tabela 41 - Número de dobras duplas de cartões do mercado brasileiro

CARTÕES DO MERCADO	DOBRAS DUPLAS – número de dobras		
	Longitudinal	Transversal	Média Geométrica
A	2042	1948	1995
B	1871	1422	1631
C	84	37	56
D	58	25	38
E	181	58	103
F	58	42	49

Tabela 42 - Índice de rasgo de cartões do mercado brasileiro

CARTÕES DO MERCADO	ÍNDICE DE RASGO – mN m ² /g		
	Longitudinal	Transversal	Média Geométrica
A	20,1	20,7	20,4
B	15,9	17,3	16,6
C	7,1	7,6	7,4
D	5,9	8,4	7,0
E	7,3	8,3	7,8

Tabela 43 - Rigidez Taber de cartões do mercado brasileiro

CARTÕES DO MERCADO	RIGIDEZ TABER – mNm		
	Longitudinal	Transversal	Média Geométrica
A	15,5	8,1	11,2
B	11,6	5,2	7,8
C	15,6	7,7	11,0
D	12,0	3,8	6,8
E	8,7	3,8	5,7
F	8,0	3,1	4,9

Tabela 44 - Alongamento de cartões do mercado brasileiro

CARTÕES DO MERCADO	ALONGAMENTO – %		
	Longitudinal	Transversal	Média Geométrica
A	3,2	6,0	4,4
B	3,4	7,2	5,0
C	3,6	8,7	5,6
D	2,8	7,4	4,5
E	3,5	8,0	5,3
F	3,5	9,0	5,6

Tabela 45 – Permeância ao ar, volume específico aparente, espessura e resistência à delaminação de cartões do mercado brasileiro

CARTÕES DO MERCADO	Volume Específico Aparente , Espessura e Delaminação			
	Resistência Ao ar	Volume Específico Aparente (cm ³ /g)	Espessura (mm)	Delaminação (Kg/cm ²)
A	19	1,80	0,454	4,7
B	>1800	1,61	0,369	4,4
C	>1800	1,39	0,394	4,2
D	>1800	1,58	0,389	5,3
E	>1800	1,28	0,321	6,5
F	>1800	1,36	0,319	5,8

Tabela 46 - Gramatura na base úmida, gramatura na base seca e umidade de cartões do mercado brasileiro.

Gramatura úmida, Gramatura seca e umidade			
CARTÕES DO MERCADO	Gramatura úmida (g/m ²)	Gramatura seca (g/m ²)	Umidade (%)
A	271	252	7,2
B	246	229	6,7
C	304	283	6,9
D	290	270	6,8
E	250	231	7,4
F	249	234	6,2

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOUCHARD, J.; DOUEK, M. The effects of recycling on the chemical properties of pulps. **Journal of Pulp and Paper Science**, v. 20, n. 5, p. J131-J136, 1994.
- BRACELPA. Relatório estatístico, São Paulo, 1997. 100 p.
- BUGAJER, S. O efeito da reciclagem de fibras secundárias sobre as propriedades do Papel kraft. **O Papel**, n. 12, p.108-112, 1976.
- CASEY, J. P. **Pulp and paper chemistry and chemical technology**. 3.ed. New York: Wiley-Interscience, 1980.
- D'ALMEIDA, M.L.O. Reciclar ou não reciclar. In: SEMINÁRIO – O USO DE APARAS NA FABRICAÇÃO DE PAPEL E CARTÃO, **Anais**. São Paulo: ABTCP, 1996.
- FERGUSON, L.D. Effects of recycling on strenght properties. **Paper Tecnology**, n.10, p.14-20, 1992.
- GAVAZZO, G.B.; VALADE, J.L.; PARIS, J. Comportamiento de pulpas termomecánicas, quimiatermomecánicas y quimimecánicas de Pecea Negra durante el reciclado. In: CONGRESSO ANNUAL DE CELULOSE E PAPEL, 28., São Paulo, 1995. **Anais**. São Paulo: ABTCP, 1995. p. 343-357.
- GRATTON, M.F.; HAMEL, J. High finish- high stiffness paperboard. **Tappi Journal**, v.78, n. 1, p. 167-175, 1995.

HABERFELD,S. O futuro do cartão. **Especial Anave**, v. 9, p.12-16, 1999.

HOWARD, R.C. The effects of recycling on paper quality. **Journal of Pulp and Paper Science**, v.16, n. 5, p. J143-J149, 1990.

KWEI, N. L., VALADE, J.L.; QUAN, J. Effects of recycling on papermaking of mechanical and high yield pulps. **Tappi Journal**, v.79, n.3, p. 167-173, 1996.

KONING, J.W.JR.; HASKELL, J. H. Papermaking factors that influence the strenght of linearboard weight handsheets. **USDA For.Serv. FPL. Res. Paper**, v. 323, p.1-31, 1979.

LAW,K.N.; JACQUES,L.V.; LI, K. "Recycling behavior of thermomechanical pulp: effects of refining energy. **Tappi Journal** , v.79, n.10, p.181-186, 1996.

MCNUTT, J.; HAGGBLOM, R.; PARSONSON, D. Into the future: The changing face of the world's pulp and paper markets today. **International PaperMaker**, v. 59, n.2, p.18-24, 1996.

MOSETIC , J.; FONSECA FILHO., L.G.N. Estudo comparativo entre formas redondas e mesas planas múltiplas, quando da produção de cartão. **O Papel** , n.11, 1985.

NEVES, F.L. Reciclagem de embalagens cartonadas Tetra Pak. **O Papel**, n. 2, p. 38-45, fev.,1999.

PFALER, J. von A. Multi-ply manufacturing of linerboard. **Tappi Journal**, n. 4, p 74-77, 1985.

PIRES, F. A reciclagem de papel no Brasil. **Especial Anave**, n. 9, p.43-46, 1999.

RATNIEKS, E.; MORA, E.; MARTINS, M.A.L. Propriedades papeleiras de misturas de polpas- Fibras de eucalipto, aparas destintadas e fibras longas. **O Papel**, v. 9, p.48-53.,1995.

SACON,V.; MENOCELLI, S.; RATNIEKS, E. Misturas de polpas brasileiras com eucalipto. **O Papel**, n. 6, p.49-54, 1995.

SCHOLZ , C. Embalagens : crescimento graças à distribuição de renda . **Fiesp Ciesp, Sesi Senai IRS Notícias** , v. 143, n.3, 1996 .

ZUBEN, F.v. & NEVES, F.L. Reciclagem do alumínio e do polietileno presentes nas embalagens cartonadas Tetra Pak. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE RECICLAGEM DO ALUMÍNIO, 5., 1999. **Anais**. São Paulo: ABAL, P.96-109.