

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RAFAEL HARBS LOPES

**COMPARAÇÃO DE TIPOS DE MISTURAS DE FIBRAS DESTINADAS A  
PRODUÇÃO DE PAPEL RECICLADO**

CURITIBA

2013

RAFAEL HARBS LOPES

COMPARAÇÃO DE TIPOS DE MISTURAS DE FIBRAS DESTINADAS  
A PRODUÇÃO DE PAPEL RECICLADO

Trabalho de conclusão apresentado à disciplina Estágio Profissionalizante em Engenharia Industrial Madeireira - Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, do Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de “Engenheiro Industrial Madeireiro”.

Orientador: Prof. Rui Maggi

Co-Orientador: Prof. Dr. Alan Sulato de Andrade

CURITIBA

2013

À Deus.

Aos meus pais Roseli e Edson,

Responsáveis pela minha educação, meu crescimento e formação  
profissional.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, por me dar coragem para lutar na conquista dos meus sonhos.

Aos meus pais Edson Reinaldo Lopes e Roseli Harbs Lopes, que me deram educação e são à base de todo meu crescimento como pessoa e que tanto me incentivaram durante a realização deste curso. A minha irmã Letícia Harbs Lopes pelo apoio.

Agradecer muito ao meu orientador Professor Rui Maggi, pela dedicação e competência e que me ajudou a chegar à conclusão desse trabalho, sempre buscando soluções para os momentos de dificuldade.

Ao Dr. Alan Sulato de Andrade, que durante o período academia foi além de um excelente professor, foi um grande amigo, tendo sempre interesse em me ajudar e promover a melhora no meu conhecimento.

Aos professores examinadores da banca, que se disponibilizaram a participar.

Aos Professores Dr. Umberto Klock pela amizade, orientação e ensinamentos durante todo o período acadêmico.

Aos amigos do Laboratório de Polpa e Papel e Química da Madeira, que sempre buscaram, de alguma forma, ajudar e compartilhar conhecimentos.

A Universidade Federal do Paraná que me deu toda a estrutura e a possibilidade na formação acadêmica.

Aos professores do curso de Engenharia Industrial Madeireira pelo conhecimento e formação.

A Solange e todos funcionários do SINPACEL (Sindicato de Indústrias de Celulose e Papel).

A CAPES pela oportunidade da mobilidade acadêmica Universidade de Hamburgo na Alemanha.

Aos bons colegas de turma pela amizade e convívio, no qual compartilhamos momentos de felicidades e de dificuldades durante o curso.

Aos meus amigos que não são do meio universitário, mas que me ajudaram também de certa forma.

E a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma no desenvolvimento deste trabalho, meu muito obrigado.

---

## SÚMARIO

---

|   |           |
|---|-----------|
| <b>AGRADECIMENTOS.....</b>                | <b>4</b>  |
| <b>LISTA DE TABELAS.....</b>              | <b>7</b>  |
| <b>RESUMO.....</b>                        | <b>8</b>  |
| <b>ABSTRACT.....</b>                      | <b>9</b>  |
| <b>1 INTRODUÇÃO.....</b>                  | <b>10</b> |
| <b>2 OBJETIVOS.....</b>                   | <b>12</b> |
| 2.1 OBJETIVO GERAL.....                   | 12        |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....            | 12        |
| <b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>       | <b>13</b> |
| 3.1 História do Copo Descartável.....     | 13        |
| 3.2 Copos de papel.....                   | 14        |
| 3.2.1 Impermeabilização.....              | 14        |
| 3.2.2 Impressão em copo de papel.....     | 15        |
| 3.2.3 Reciclagem dos Copos.....           | 16        |
| 3.2.4 Plástico X papel.....               | 16        |
| 3.2.5 Emissões.....                       | 17        |
| 3.3 RECICLAGEM DE PAPEL.....              | 17        |
| 3.4 CELULOSE.....                         | 18        |
| 3.5 PRODUÇÃO E PROPRIEDADES DO PAPEL..... | 19        |
| <b>4 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>         | <b>21</b> |
| 4.1 Materiais.....                        | 21        |
| 4.2 Método.....                           | 21        |
| 4.3 tratamento ESTATÍSTICO dos dados..... | 24        |
| <b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>     | <b>25</b> |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>5.1</b> | <b>PROPRIEDADES DO PAPEL .....</b>     | <b>25</b> |
| 5.1.1      | Gramatura .....                        | 25        |
| 5.1.2      | Alvura .....                           | 27        |
| 5.1.3      | Tração .....                           | 28        |
| 5.1.4      | Rigidez.....                           | 30        |
| 5.1.5      | Rasgo .....                            | 31        |
| 5.1.6      | Arrebentamento.....                    | 33        |
| 5.1.7      | Esmagamento de Anel (RCT) .....        | 35        |
| <b>6</b>   | <b>CONCLUSÕES.....</b>                 | <b>37</b> |
| <b>7</b>   | <b>RECOMENDAÇÕES .....</b>             | <b>38</b> |
| <b>8</b>   | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b> | <b>39</b> |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1- Normas utilizadas para os testes.....                                   | 22 |
| Tabela 2- ANOVA da Gramatura.....   | 25 |
| Tabela 3- RESULTADO da comparação de médias de gramatura (G/m <sup>2</sup> )..... | 26 |
| Tabela 4- ANOVA da Alvura.....  | 27 |
| Tabela 5- RESULTADO da comparação de médias da Alvura (%).....                    | 28 |
| Tabela 6- ANOVA da Tração.....  | 28 |
| Tabela 7 -RESULTADO da comparação entre os índices de Tração .....                | 29 |
| Tabela 8- ANOVA da Rigidez.....   | 30 |
| Tabela 9- RESULTADO da comparação entre as médias de Rigidez .....                | 31 |
| Tabela 10- ANOVA do Rasgo .....   | 31 |
| Tabela 11- RESULTADO da comparação entre as médias de Rasgo .....                 | 32 |
| Tabela 12- ANOVA do Arrebentamento .....  | 33 |
| Tabela 13- RESULTADO da comparação de médias Arrebentamento.....                  | 34 |
| Tabela 14- ANOVA do Esmagamento do Anel.....                                      | 35 |
| Tabela 15- RESULTADO da comparação de médias do Esmagamento do Anel .....         | 36 |

## RESUMO

O termo reciclagem está sendo muito comentado e utilizado na atualidade, e apresenta grandes vantagens para a indústria papelreira, pois promove a preservação de recursos naturais, além disso, apresentando uma redução de custos muito significativa na produção do setor. O objetivo deste trabalho foi analisar as propriedades mecânicas e físicas do papel destinado à embalagem, em função da variação de aparas de copos (compostos por celulose, com grande valor agregado devido a sua brancura e por ser uma fibra praticamente virgem, e um filme plástico), com aparas de papel reciclado. Para obtenção da celulose, ambas as aparas passaram por um processo de desagregação, e as aparas de copos, por mais um processo de depuração, para a separação do plástico da celulose. As misturas foram com as seguintes concentrações: 100% reciclado, 100% copo, 70% reciclado 30% copo, 80% reciclado 20% copo, 90% reciclado 10% copo, totalizando cinco tratamentos. As folhas formadas com esses tratamentos foram submetidas à análise das seguintes propriedades: gramatura, alvura, rasgo, arrebentamento, esmagamento do anel (RCT) e rigidez. Os resultados obtidos nos testes foram analisados e inseridos em um programa de estatística, para melhor confiabilidade na análise. A partir dos resultados, verificamos que além da vantagem ecológica com a reciclagem das aparas de copo, à adição desse material apresentou melhorias nas propriedades do papel, destinado a embalagem.

**Palavras-chave:** Reciclagem, Propriedades de resistência do papel, mistura de fibras oriundas de aparas.

## ABSTRACT

The term recycling is being much commented and utilized on actuality, and presents great vantage for the paper industry, because promotes the preservation of natural resources, besides that, presents a very significant reduction of costs on the production of sector. The objective of this work is analyze the mechanics and physics properties of the paper destined to the package, according with the variation of the pieces of paper cups (composed by cellulose, with great aggregated value because of the whiteness and by being a fiber practically virgin, and a plastic film), with pieces of recycled paper. To the obtainment of cellulose, both of the pieces passed for one process of dissolution, and the pieces of cups, for another depuration process, to separate the plastic and cellulose. The mixes were the following concentrations: 100% recycled, 100% cup, 70% recycled 30% cup, 80% recycled 20% cup, 90% recycled 10% cup, totalizing five treatments. The sheets formed with these treatments were submitted to analysis of the following properties: weights, whiteness, rip, rupture, crush of ring (RCT)\*, and rigidity. The obtained results on tests were analyzed and inserted in a statistics program, NAME OF PROGRAM, to better confidence on analysis. With these results, we verify that besides the ecological vantage with the recycling of pieces of cup, the addition of this material presented improvements on the paper properties, destined to the package.

**Keys-word:** recycling, properties of paper resistance, mixes of fibers deriving of pieces.

## 1 INTRODUÇÃO

O copo descartável surgiu em 1907, nos Estados Unidos por Lawrence Luellen, da faculdade de Harvard. Esta ideia surgiu a partir da preocupação com a transmissão de germes pelo uso das canecas comunitárias, onde todos tomavam água sem nenhuma higienização, com isso surgiu a oportunidade da invenção do primeiro copo descartável, feito de papel, surgindo então “Dixie Cups”. Essa invenção foi sendo utilizada e aprimorada cada vez mais, por sua higiene e praticidade, sendo tão utilizado, que atualmente 220 bilhões de copos de papel e plástico são usados ao ano. Isso acabou trazendo acúmulo de lixo, surgindo assim a necessidade da reciclagem.

Os principais fatores de incentivo à reciclagem, além dos econômicos, são a preservação de recursos naturais, a minimização da poluição e a diminuição do volume de detritos sólidos a serem descartados em lixões e aterros sanitários, sendo o papel o maior componente desses lixões. O papel é originado da celulose dos vegetais, principalmente de espécies como Pinus e Eucalipto. Por cada tonelada de papel reciclada evita-se o abate de 20 árvores, economiza-se 71 % de energia elétrica, 90 % de água e 74 % de poluição do ar. Além de ser de origem renovável, está entre os produtos que apresentam maior taxa de reciclagem no Brasil. No total, 45,5% de todos os papéis que circularam no País, em 2011, foram encaminhados à reciclagem. (BRACELPA 2010).

Empresas aos poucos vão se conscientizando, trazendo produtos ecologicamente corretos, visando sempre à possibilidade da reciclagem, exemplo é de uma empresa nacional que criou copos feitos de papel, chamados de Ecopos, copo feito de fibra virgem extraída de madeiras de reflorestamento, que busca evitar o uso excessivo do plástico, diminuindo assim a quantidade de lixo.

Os tipos de papéis que podem ser reciclados são os seguintes: papelão, jornal, revistas, papel de fax, papel-cartão, envelopes, fotocópias, e impressos em geral, os não recicláveis são: papel higiênico, papel toalha, fotografias, papel carbono, etiquetas e adesivos. No entanto existem produtos que poderiam ser agregados como matéria prima e segue diretamente para os aterros sanitários, como os copos de papel descartáveis, que por possuírem um revestimento plástico sobre a celulose, dificultam a sua reciclagem, porém este material possui um grande valor agregado, por possuir fibras de excelente qualidade e branqueadas.

Produtos como embalagens, caixa de ovo, bandeja para frutas, etc. Poderiam ser fabricados utilizando como matéria prima as aparas de copos, o que representaria uma melhora na utilização do recurso. No entanto, não há um estudo que se sabe quais as características desse tipo de produto, e nem seu comportamento na fabricação, por isso é necessário um detalhamento do material com testes, para avaliar se suas propriedades são ou não favoráveis para a sua utilização.

Este estudo dedicou-se a destinação das aparas de copo, analisando o comportamento nos testes físicos e mecânicos, por tratar-se de uma fibra de valor agregado, devido a excelente qualidade.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Este trabalho teve como objetivo pesquisar as propriedades de cinco misturas de fibras, destinadas à fabricação de papel reciclado. Para atingir esse objetivo foram realizados testes mecânicos e físicos das misturas de aparas.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Para os objetivos específicos deste trabalho avaliou-se a possibilidade da utilização de aparas (copos de papel descartável e papéis de escritório) para fabricação de subprodutos (bandejas de papel, embalagens e caixas para ovos). No papel resultante do tratamento das aparas, o qual será destinado para o subproduto, foram realizados testes para determinar e analisar sua qualidade.

- ✓ Tração;
- ✓ Resistência ao rasgo;
- ✓ Mullen;
- ✓ Rigidez;
- ✓ RCT;
- ✓ Alvura;
- ✓ Gramatura.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 HISTÓRIA DO COPO DESCARTÁVEL

Em 1907, Hugh Moore e seu colega de quarto da faculdade, Lawrence Luellen, abandonaram Harvard para perseguir uma ideia de negócio. Naquela época, as pessoas bebiam em fontes públicas de água utilizavam as mesmas canecas de metal, que raramente eram lavadas e não eram substituídas. Os dois amigos, conscientes de descobertas recentes de que doenças eram espalhadas quando se compartilhavam estes tipos de canecas, perceberam uma oportunidade para ganhar dinheiro. Luellen teve a ideia de uma máquina para vender água com copos de papel e, juntos, ele e Moore compraram uma fábrica, localizada ao lado da Dixie Doll Company, de Alfred Schindler. Pouco tempo depois, eles lançaram o primeiro copo de papel, conhecido como “Health Kup”. Moore, que nunca chegou a gostar do nome original do copo, via a palavra “Dixie” todo dia, uma vez que ela estava impressa na porta da frente da empresa de bonecas. Assim nasceram os “Dixie Cups”. (Botsman\_01.indd 06/04/11)

A idéia não foi um grande sucesso. Mas oito anos depois, Moore e Luellen adaptaram os Dixie Cups para “uso clínico”. Os amigos e sócios passaram a ser conhecidos como os “cup campaigners” com uma blitz educativa abrangente, dizendo ao público que as canecas de metal comunitárias de uso repetido em fontes de água eram a principal fonte de contaminação por germes. Apenas copos descartáveis eram higiênicos. Eles distribuíram um panfleto com uma ilustração gráfica de um copo no formato de um esqueleto empoleirado em uma fonte. Esta campanha não era apenas propaganda. A caneca comunitária realmente espalhava doenças graves, especialmente a tuberculose e a varíola e, neste sentido, o copo descartável de papel teve um impacto positivo sobre a sociedade. Avançando para os dias de hoje, impressionantes 220 bilhões de copos de papel e de plástico são usados por ano no mundo todo.”. (Botsman\_01.indd 06/04/11)

## **3.2 COPOS DE PAPEL**

O papel que é usado como base para os copos de papel é chamado de "papel copo" e são feitas em máquinas especiais que dobram esse papel. Além de possuir um revestimento para impermeabilização do mesmo. O papel precisa de alta rigidez e forte resistência ao molhado e possuem um projeto especial para os processos de fabricação do copo. O processo de formação do "papel copo" requer boas propriedades de alongamento das fibras de papel e do revestimento plástico. Um rolo desse papel bem formado fornece uma boa rigidez e boas propriedades de manipulação no copo. Os pesos base para o "papel copo" são de 170-350 g/m<sup>2</sup>. (ALLYN FREEMAN AND BOB GOLDEN 1997)

Para atender às exigências de higiene, os copos de papel são geralmente fabricados a partir de fibras virgens (não reciclado). A única exceção a esta regra é quando o copo de papel possui uma camada extra de isolamento para a retenção de calor, que nunca entra em contato com as bebidas, tal como uma camada ondulada envolvida em volta de um copo de parede simples. (ALLYN FREEMAN AND BOB GOLDEN 1997).

### **3.2.1 IMPERMEABILIZAÇÃO**

Originalmente, copos de papel para bebidas quentes eram colados em conjunto e para torná-lo impermeável era deixado cair uma pequena quantidade de argila no fundo do copo, e, em seguida, ele era girado a alta velocidade, de modo que a argila se deslocar para cima das paredes do copo, fazendo com que o papel resistisse a água. No entanto, isso resultou em bebidas com um cheiro desagradável e com gosto de papelão (MARTIN B. HOCKING 1994).

Copos para bebidas frias não poderiam ser tratadas da mesma forma. Como as formas de condensação entre copo e atmosfera são diferentes, isso fazia com que o copo ficasse "molhado" tornando-o instável. Para remediar esta situação, os fabricantes de copo desenvolveram a técnica de pulverização interior e exterior do copo com cera. Os revestimentos de argila dos copos desapareceram com a invenção do polietileno (PE); este processo impermeabiliza a superfície do copo com uma camada muito fina de PE, gerando uma impermeabilização do copo (MARTIN B. HOCKING 1994).

### **3.2.2 IMPRESSÃO EM COPO DE PAPEL**

Originalmente os copos de papel tinham suas superfícies impressas com blocos de borracha montado em cilindros, com um cilindro diferente para cada cor o que tornava o registro com várias cores muito difícil. Mas com a chegada das placas de flexografia e com a utilização de sistemas de fixação se tornou mais fácil de registrar com cores, o que permite desenhos mais complexos. A impressão flexografica tornou-se ideal para fabricantes, que geralmente usam este método de produção, para produções de mais de um milhão de copos. Máquinas, tais como COMEXI são usados para esta, que foram adaptadas para tomar as bobinas extragrandes que são requeridos pelos fabricantes de copo de papel (MAYING SOONG2002).

A tecnologia de tinta também se alterou. No lugar das tintas à base de solvente, que vinham sendo utilizadas, a tinta à base de água veio como uma alternativa para a troca. Um dos efeitos secundários de tintas à base de solvente é que os copos de bebidas quentes, em particular, o cheiro de solvente era transferido para o líquido, enquanto que as tintas à base de água não apresentavam esse problema. Outros métodos de impressão têm sido usados para produções pequenas, tais como impressão offset, que podem ser aplicadas em quantidades que variam de 10.000 a 100.000 copos. Tintas de impressão offset também têm sido desenvolvidas e apesar de, no passado, estes eram à base de solvente, as últimas tintas à base de soja reduziram o perigo de copos com cheiro. O mais recente desenvolvimento é DirectXprinting, que permite imprimir em quantidades muito pequenas, normalmente a partir de 1.000 copos, e é usado por empresas como a “The Paper Cup Company” oferecendo pequenas quantidades em prazos curtos. Rotogravura pode também ser utilizado, mas este é extremamente caro e é normalmente utilizado apenas para os itens que exigem impressão de qualidade extremamente elevada como os recipientes de gelado (MAYING SOONG 2002).

### **3.2.3 RECICLAGEM DOS COPOS**

A maioria dos Copos de papéis são concebidos para uma única utilização e descarte. Pouco papel reciclado é usado para fazer copos de papel por causa de preocupações de contaminação e por causa das normas. Como a maioria dos copos de papel são revestidos com plástico, tanto a utilização de papeis de compostagem e reciclagem são indiferentes. Embora os copos de papel sejam feitos a partir de recursos renováveis (as aparas de madeira de 95% em peso), produtos de papel em aterros não podem decompor-se, ou ainda podem liberar metano pois sua decomposição é anaeróbica. A fabricação de papel geralmente requer produtos químicos inorgânicos e cria efluentes de água. Copos de papel podem consumir mais recursos não-renováveis do que copos feitos de espuma de poliestireno (cuja única significativa efluente é pentano) (MARTIN B. HOCKING 1991).

### **3.2.4 PLÁSTICO X PAPEL**

Um inventário de ciclo de vida que compara os copos de papel com os copos de plástico mostra efeitos ambientais de ambos com nenhum vencedor claro. PE é um revestimento à base de petróleo em copos de papel que podem retardar o processo de biodegradação. O PLA é um revestimento bio-plástico biodegradável usado em alguns copos de papel. PLA é um recurso renovável e faz com que os copos de papel sejam comportáveis mais rápido, enquanto o PE não é nem renovável e nem compostável. Nem PE e nem PLA é completamente biodegradável, e copos de papel só pode ser reciclado a uma unidade de tratamento especializado, independentemente do revestimento. (ALLYN FREEMAN AND BOB GOLDEN 1997).

Um número de cidades incluindo Portland, Oregon, têm copos de espuma bannedXPS em restaurantes do tipo “take-out” (restaurantes que você pega a comida para comer em casa) e redes de fast food. (ALLYN FREEMAN AND BOB GOLDEN 1997).

### **3.2.5 EMISSÕES**

Um estudo que analisou um copo de café de papel mostra que as emissões de CO<sub>2</sub> é de cerca de 0,11 kg por copo -. Incluindo papel das árvores, materiais, produção e transporte. (ALLYN FREEMAN AND BOB GOLDEN 1997).

#### **PERDA DE HABITAT DE ÁRVORES UTILIZADAS**

A perda do potencial de habitat natural a partir do copo de café de papel é estimada como sendo 0,09 metros quadrados. Mais de 6,5 milhões de árvores foram cortadas para fazer 16 milhões de copos de papel utilizados pelos consumidores dos EUA em 2006, com 4 bilhões de galões americanos de água e resultando em 253 milhões de quilos de resíduos. Americanos são responsáveis por 58% das o consumo de copo de papel de todo o mundo. (ALLYN FREEMAN AND BOB GOLDEN 1997).

### **3.3 RECICLAGEM DE PAPEL**

A reciclagem de papel é uma atividade que vem ao longo dos anos atingindo importância mundial, tanto no aspecto econômico quanto ecológico. A necessidade de se utilizar matérias primas alternativas e mais baratas além da problemática de descarte do lixo tem gerado oportunidades à intensificação do uso de materiais recicláveis (SILVA& OLIVEIRA, 2000).

Reciclagem é o aproveitamento das fibras celulósicas de papéis usados e aparas para produção de novos papéis. (IPT, 1981). O termo aparas surgiu para designar as rebarbas do processamento do papel em fábricas e em gráficas, e passou a ter uma abrangência maior, designando, todos os papéis coletados para serem reciclados, ou seja, fibras secundárias (COMPAM,2008)

A reciclagem do papel não é um processo isento de poluição e geração de resíduos, mas o uso de papel reciclado na produção de celulose e papel reduz o uso de florestas plantadas, bem como o consumo de energia e água. Bellia (1996) relata que a reciclagem de papel leva a uma redução de energia para a produção de papel e celulose da ordem de 23% a 74%, e redução de 58% no uso de água. ABTCP (1994), ressalta ainda que a água é o principal veículo de transporte das fibras e produtos químicos, e que o papel é formado a consistência muito baixas (0,5%).

Devido a fatores ambientais e econômicos, somados as mudanças na legislação, sobre o destino dos resíduos sólidos, o consumo de aparas (FIGURA 2) como matéria-prima na fabricação de celulose e papel vem aumentando no Brasil (BRACELPA, 2011).

A produção de papel reciclado no Brasil é aplicada em 80% para embalagens; 18% para fins sanitários; e 2% para impressão. (CEMPRE, 2007).

No Brasil 45,5% de todos os papéis que circulam no país foram para reciclagem. (BRACELPA, 2011).

As fábricas são abastecidas por uma grande rede cooperativas e outros fornecedores de papel pós-consumo que fazem a triagem (remoção dos materiais contaminantes e proibitivos), a classificação e o enfardamento do material. Os produtos que contaminam o papel ondulado são cera, plástico, manchas de óleo, terra, pedaços de madeira, barbantes, cordas, metais, vidros, entre outros.(BRACELPA, 2011; ANAP, 2011).

É importante ressaltar que o papel não pode ser reciclado infinitas vezes, pois as fibras perdem a resistência e as características que definem o papel, devido as transformações físicas e químicas na superfície da parede celular, interferindo na capacidade de formação de ligações inter-fibras (HOWARTH, 1991). As principais conseqüências ocorridas nas fibras secundárias são: Redução do comprimento médio da fibra; Redução das propriedades de resistência do papel; Menor capacidade de estabelecer ligações; Menor capacidade de hidratação das fibras; Menor flexibilidade das fibras; e Menor capacidade de reter água (SPAGERBERG, 1993).

Para OLIVEIRA & SABIONI (1998), nos primeiros ciclos de reciclagem do papel observa-se as maiores perdas nas suas propriedades, tendendo a se estabilizar após o 4º ciclo. ABTCP (1996) ressalta ainda que, um papel pode ser reciclado umas quatro ou cinco vezes. Devido a estes fatores, será sempre necessário o uso de fibras virgens para a produção de papel (BRACELPA, 2011).

### **3.4 CELULOSE**

A Celulose tem muitos usos, desde agentes anti-endurecimento, emulsificador, estabilizador, dispersantes, espessantes, e de gelificação, porém, o mais importante é sua utilização para a fabricação do papel (KLOCK, 2008).

KLOCK, *et al* (2005) ressaltam que a celulose é o componente principal da parede celular da fibra. Trata – se de um homo polissacarídeo linear de alto peso molecular,

constituído exclusivamente por unidades de  $\beta$ -D-glucose, cuja função é estrutural (SJÖSTRÖM, 1988).

A celulose representa aproximadamente 40 a 45% do peso seco da madeira e está localizada predominantemente na parede secundária das células (SJÖSTRÖM, 1993). Apresenta regiões cristalinas e amorfas, que proporcionam propriedades físicas e químicas diferentes na madeira (D'ALMEIDA, 1981).

O grau de polimerização da celulose varia de 1000 a 15000 e a massa molecular de 162.000 a 2.430.000, esses valores sofrem influência da origem da amostra, da degradação da mesma e dos parâmetros operacionais do processo de polpação (GULLICHSEN e PAULAPURO, 2000).

### **3.5 PRODUÇÃO E PROPRIEDADES DO PAPEL**

Papel pode ser definido como uma folha formada, seca e acabada, de uma suspensão aquosa de fibras celulósicas, que são entrelaçadas aleatoriamente e unidas por ligações de hidrogênio (KLINE, 1991). Podendo ter ou não adição de outros aditivos, para dar ao produto final, características de utilização (KLOCK, 2010).

Os passos básicos para a fabricação de papel (FIGURA 3) são a formação (consiste na aplicação da polpa celulósica sobre uma tela), drenagem (é a remoção inicial da água através de escoamento por gravidade ou diferença de pressão), consolidação (resultado da compactação do colchão de polpa celulósica) e secagem (remoção da água pelo contato com superfícies aquecidas)(BIERMANN, 1996).

A qualidade do papel produzido é definida por diversos fatores, dentre as variáveis de maior influência pode-se citar a qualidade da celulose obtida na polpação, o comprimento e tipo das fibras, a espessura da parede das fibras, o grau de refino, as ligações interfibras, a distribuição da lignina residual, a umidade, a gramatura, a pressão exercida na confecção do papel, a adição de aditivos entre outros (SCOTT *et al*, 1995; SANJUAN, 1997; SMOOK, 1989).

A caracterização das propriedades do papel é realizada através de diversos testes. Esses podem ser de natureza física (gramatura, umidade, espessura, absorção, entre outros) de resistência mecânica (tração, rasgo, arrebentamento, etc), e ainda de natureza óptica, química e elétrica (BIERMANN, 1996; SMOOK, 1989).

A gramatura afeta todas as propriedades mecânicas e algumas propriedades óticas e elétricas. É importante do ponto de vista econômico na compra e venda do papel (D'ALMEIDA, 1981).

A resistência à tração é determinada submetendo os corpos de prova, de largura e comprimento específicos, a um esforço de tração uniforme e crescente, até sua ruptura (SMOOK, 1989). A resistência à tração é influenciada por fatores como a resistência individual das fibras, o comprimento médio das fibras, a formação e estrutura da folha.

A resistência à tração também está relacionada com a durabilidade e utilidade de um papel para embalagem que está sujeito a forças de tensão direta. Fibras longas aumentam a resistência do papel até um certo limite. Quando demasiadamente longas, as fibras interferem na formação, produzindo papéis menos uniformes (IPT, 1982).

A resistência ao arrebentamento, corresponde a pressão necessária para produzir o estouro do material, essa propriedade demonstra o grau de adesão entre as fibras (WALKER, 1993). É influenciada por fatores como gramatura, grau de refino e espessura (IPT, 1982).

Resistência à compressão do anel é a força necessária para que a amostra seja esmagada, por meio do deslocamento vertical da parte móvel de uma prensa sobre a parte estacionária. RCT é considerado hoje o mais importante teste para a avaliação da qualidade de um papel para a confecção de chapas de papelão ondulado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL, 1994, p. 16).

O ensaio de resistência ao rasgo consiste na determinação do trabalho total necessário para o rasgamento completo do papel. Quando em conjunto com a resistência ao arrebentamento e à tração, configura um importante critério de qualidade para os papéis. Esse ensaio é usado na avaliação de sacos de papel, etiquetas, papéis para fins higiênicos entre outros que são submetidos à força de rasgamento (SANJUAN, 1997).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 MATERIAIS

As amostras foram enviadas para o Laboratório do SINPACEL, por uma empresa que utiliza aparas como matéria prima (copos de papel descartável 100% celulose virgem e descartes de escritório), localizada na região dos campos gerais no estado do Paraná. Este material permaneceu na empresa por um período de uma semana até que chegasse ao Laboratório, não sofrendo assim uma degradação de suas propriedades.

### 4.2 MÉTODO

As amostras utilizadas vieram diretamente da empresa, embaladas dentro do seu próprio padrão, não ocorrendo assim a descaracterização do mesmo, sendo que as aparas de copos e de jornal vieram devidamente separadas umas das outras.

- A primeira etapa do processo utilizado foi o de hidratação das aparas, sendo que mesmas permaneceram em um recipiente com água por 24 horas, no qual após a esse período desintegramos ambas as aparas, sendo efetuado individualmente sobre cada uma, padronizados em um período de 8 minutos, determinados por norma da empresa.

- Como a composição das aparas dos copos não era apenas de celulose, e sim de celulose/plástico, o segundo passo foi separar essas aparas, passando-as por um processo de depuração, para que obtivéssemos a separação da celulose e do plástico.

- Na terceira etapa foi colocado as amostras separadamente no agitador, para homogeneização de ambos. Efetuando assim a mistura com concentrações diferentes, determinados pela a empresa:

- 100% aparas de copo;
- 100% aparas de aparas de papel;
- 90% aparas de papel 10% aparas copo;
- 80% aparas de papel 20% aparas copo;
- 70% aparas de papel 30% aparas copo.

- Quarta etapa foram formadas as folhas conforme a Norma ISO 5269/2 e T205 sp-02, no qual formou-se 12 folhas para cada concentração. A gramatura pretendida foi de  $110 \pm 5 \text{ g/m}^2$ .

Após a formação das folhas, estas foram colocadas em ambiente climatizado, a uma temperatura de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  e  $50\% \pm 2\%$  de umidade relativa (Norma T402 – om 94), afim de estarem em equilíbrio com o ambiente. Na sequência, foi determinada a gramatura e as folhas foram cortadas, para que pudessem ser analisadas nas seguintes propriedades: resistência ao esmagamento do anel (RCT), rigidez, tração, rasgo, arrebatamento e umidade, seguindo as recomendações das normas relacionadas.

TABELA 1- NORMAS UTILIZADAS PARAS OS TESTES

| Ensaio  | Norma                  | Nº Corpos de Prova |
|---|------------------------|--------------------|
| Gramatura ( $\text{g}/\text{cm}^2$ )                      | NBR NM-ISO 536:2000    | 10                 |
| RCT (resistência esmagamento de Anel) (Kgf)               | NBR 14260:2005         | 10                 |
| Resistência ao Arrebatamento ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ) | NBR NM ISO 2759/2007   | 10                 |
| Tração ( $\text{kN}/\text{m}$ )                           | NBR NM-ISO 1924-1:2001 | 10                 |
| Rigidez ( $\text{mN}\cdot\text{m}$ )                      | NBR NM- ISO 2493:2001  | 10                 |
| Rasgo (gf)  | NBR NM- ISO 1974:2001  | 10                 |
| Alvura  | NBR NM ISSO 2470:2001  | 10                 |

O quadro sumariza os ensaios realizados, a norma seguida e o número de corpos de provas.

A gramatura foi determinada com a medida da área das folhas e pesagem em balança analítica de precisão. Seu valor é expresso em gramas por metro quadrado ( $\text{g}/\text{m}^2$ ).

O ensaio de tração foi realizado em equipamento Regmed DI-500. A resistência a tração é expressa em quilo newtons por metro ( $\text{kN}/\text{m}$ ) e seu índice é calculado pela relação entre sua resistência e a gramatura, sendo expresso em newtons metro por grama ( $\text{Nm}/\text{g}$ ).

A resistência ao rasgo foi realizada em um aparelho Pêndulo Elmendorf da marca Regmed, onde corresponde a força perpendicular em mil newtons ( $\text{mN}$ ) ao plano do papel necessária para rasgar uma ou mais folhas. Seu índice é calculado através da relação entre sua resistência e a gramatura, sendo expressa em mil newtons metro quadrado por grama ( $\text{mNm}^2/\text{g}$ ).

O ensaio de resistência ao arrebatamento foi realizado em equipamento tipo Mullen, onde sua resistência é expressa em quilo pascal ( $\text{kPa}$ ). Seu índice é calculado pela relação

entre a resistência ao arrebentamento pela gramatura, onde é expresso em quilo pascal metro quadrado por grama ( kPam<sup>2</sup>/g).

O ensaio de rigidez, é a força medida em N ou mN necessária para fletir um corpo de prova retangular, foi utilizado o equipamento Regmed/RI-5000, que expressa a medida em (gf.cm).

O teste de Alvura, foi efetuado no aparelho Elrephol/Lorentze & Wettre fator, no qual mede a reflectância difusa em azul (ALVURA ISO), os valores são dados em porcentagem (%), onde avaliamos o branqueamento do papel.

O esmagamento de anel foi efetuado no equipamento Prensa Crush Tester CT 1000 da marca Regmed, onde sua unidade é determinada por quilograma força (Kgf), onde esse equipamento exerce uma força sobre o anel de papel, posicionado em um suporte, ate que haja sua deformação.

### **4.3 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS**

Foi utilizado delineamento experimental com cinco tratamentos, e dez repetições por tratamento, afim de avaliar o efeito da matéria prima sobre as 7 propriedades. Utilizou-se a ferramenta de análise de variância a 95 % de significância em fator único, sendo que o efeito testado foi a origem da matéria prima. Verificando a existência de diferença estatística entre as médias foi aplicado o teste de Tukey Krammel ao nível de 95 % de confiabilidade.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 PROPRIEDADES DO PAPEL

O papel resultante da mistura de papéis reciclado com aparas de copo será destinado para a fabricação de embalagens, este deve apresentar propriedades mínimas de qualidade, para que possa atingir as necessidades das diferentes solicitações mecânicas. Por isso foi analisado e avaliado quais os esforços máximos suportados para as diferentes proporções de fibras de aparas de copos com as fibras recicladas

#### 5.1.1 GRAMATURA

Na tabela 2, estão descritos os valores da análise de variância para gramatura.

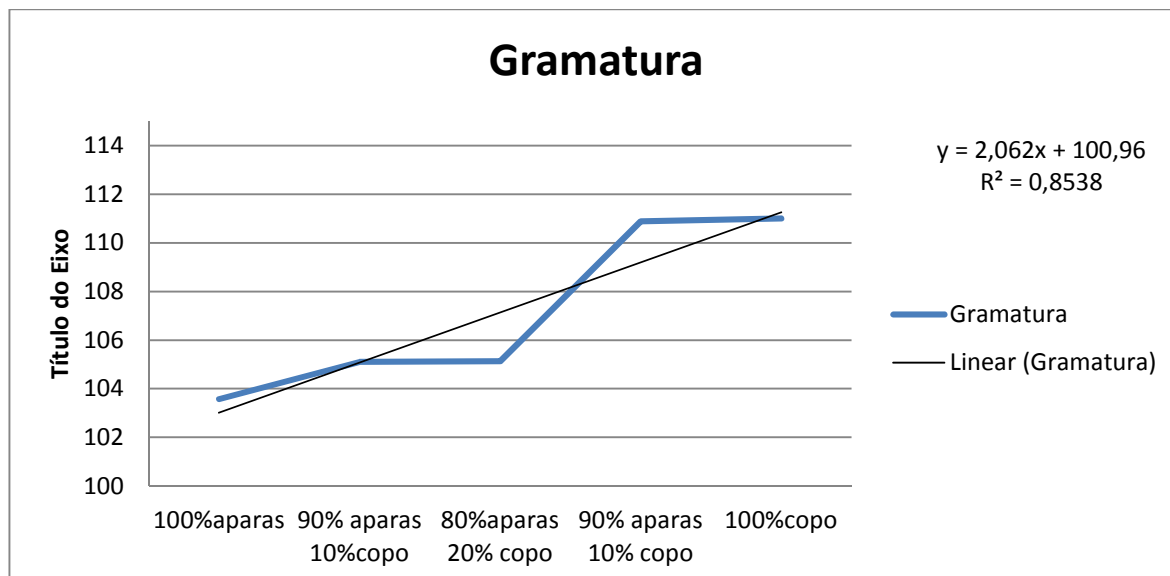
TABELA 2- ANOVA DA GRAMATURA

| Fonte da variação | SQ      | I  | MQ       | F       | Valor-P  | F crítico |
|-------------------|---------|----|----------|---------|----------|-----------|
| Entre grupos      | 98,3128 | 4  | 124,5782 | 9,47784 | 1,21E-05 | 2,578739  |
| Dentro dos grupos | 91,8652 | 45 | 13,15256 |         |          |           |
| Total             | 090,178 | 49 |          |         |          |           |

O resultado de análise da variância revelou diferenças estatísticas significativas entres as médias de gramatura. Devido a variação na gramatura dos tratamentos, os valores obtidos para os ensaios de tração, rasgo e arrebentamento, são apresentados na forma de índice. Pois segundo DUEÑAS (1997), dessa forma elimina-se o efeito da gramatura, podendo assim comparar os resultados obtidos.

No gráfico 1 podemos verificar as médias das gramaturas em função da variação da concentração de aparas.

GRÁFICO 1- VALORES MÉDIOS DAS GRAMATURAS



Na tabela 3 mostra os valores das médias de gramatura.

TABELA 3- RESULTADO DA COMPARAÇÃO DE MÉDIAS DE GRAMATURA (G/M²)

| TRAT             | N    | Subset for alpha = 0.05 |         |
|------------------|------|-------------------------|---------|
|                  |      | 1                       | 2       |
| 90%aparas10%copo | 10   | 103,58                  |         |
| 100%aparas       | 10   | 105,11                  |         |
| 80%aparas20%copo | 10   | 105,13                  |         |
| 70%aparas30%copo | 10   |                         | 110,889 |
| 100%copo         | 10   |                         | 111,006 |
|                  | Sig. | 0,75                    | 1       |

A gramatura é o peso em gramas medido por metro quadrado de uma folha de papel, por isso sempre se especifica: g/m². Essa propriedade é muito importante, pois interfere significativamente nas demais propriedades.

Podemos verificar que nas amostras com concentração maior de aparas de papel, obtivemos uma gramatura menor que as amostras com maior concentração de aparas de copo, isso é devido às aparas de papel conter maior quantidade de finos, menor comprimento médio e menor capacidade de estabelecer ligações, o que na formação das folhas acaba tendo uma perda da massa pela peneira, modificando assim a gramatura final.

Neste teste obtivemos uma gramatura mais precisa na mistura 70% aparas 30% copo, atingindo a gramatura de 110 g/m². As misturas que ficaram no grupo um, resultaram uma alvura abaixo do desejado entre 103 e 105 g/m².

## 5.1.2 ALVURA

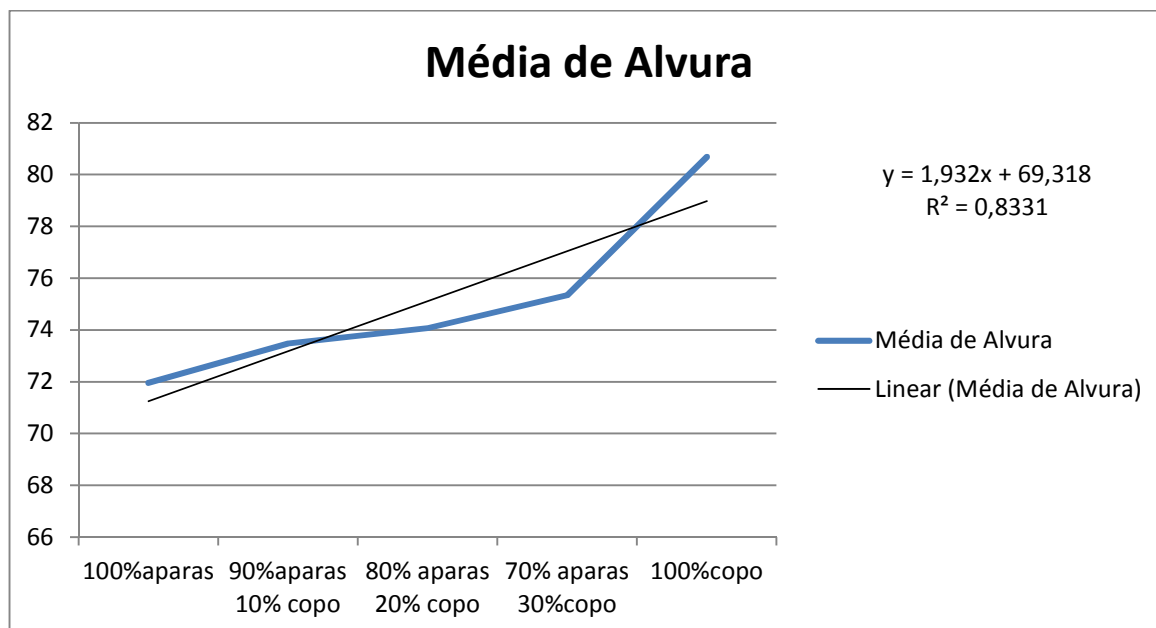
Na tabela 4 estão descritos os valores da análise de variância para alvura.

TABELA 4- ANOVA DA ALVURA

| Fonte da variação | SQ       | I | Q        | F        | Valor-P  | F crítico |
|-------------------|----------|---|----------|----------|----------|-----------|
| Entre grupos      | 447,5449 |   | 111,8862 | 117,2384 | 3,42E-23 | 2,578739  |
| Dentro dos grupos | 42,94566 |   | 0,954348 |          |          |           |
| Total             | 490,4906 |   |          |          |          |           |

No gráfico 2 podemos verificar as médias das alvuras em função da variação da concentração de aparas.

GRÁFICO 2- MÉDIAS DE ALVURA



Na tabela 5 mostra os valores das médias de alvura.

TABELA 5- RESULTADO DA COMPARACAO DE MÉDIAS DA ALVURA (%)

| TRAT             | N  | Subset for alpha = 0.05 |        |        |        |
|------------------|----|-------------------------|--------|--------|--------|
|                  |    | 1                       | 2      | 3      | 4      |
| 100%copo         | 10 | 80,688                  |        |        |        |
| 90%aparas10%copo | 10 |                         | 73,494 |        |        |
| 80%aparas20%copo | 10 |                         | 74,079 |        |        |
| 70%aparas30%copo | 10 |                         |        | 75,347 |        |
| 100%aparas       | 10 |                         |        |        | 71,962 |
| Sig.             |    | 1                       | 0,669  | 1      | 1      |

A alvura é uma propriedade do papel, onde medimos o seu branqueamento, o seu valor é dado em porcentagem, ou seja, quanto mais branco o papel maior será sua alvura.

Verificando os resultados dos testes, podemos observar que as amostras com maior quantidade de aparas de copo, obtiveram maior alvura, pois as fibras dos copos tinham um alto nível de branqueamento, isso pode ser verificado na amostra composta por 100% de aparas de copos, que teve 80,69% de alvura. Na medida em que adicionamos aparas de papel, a alvura foi diminuindo, obtendo a menor alvura na amostra com 100% de aparas de papel, 71,96%. Na utilização do papel para embalagem, seria interessante uma alvura elevada, pois assim facilitaria na impressão e na adição de corantes das embalagens. Na tabela 5 podemos verificar que até mesmo a adição de 10% aparas de copo é válida, pois trouxe melhorias na alvura em comparação com a amostra de 100% de aparas de papel.

### 5.1.3 TRAÇÃO

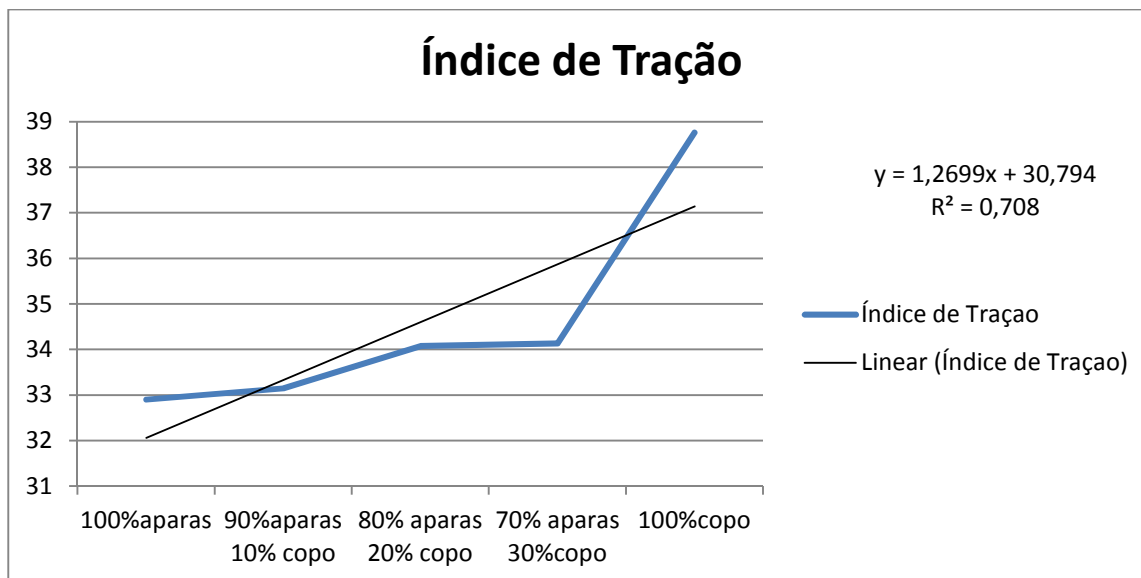
Na tabela 6 estão descritos os valores da análise de variância para tração.

TABELA 6- ANOVA DA TRAÇÃO

| Fonte da variação | SQ       | gl | MQ       | F        | Valor-P  | F crítico |
|-------------------|----------|----|----------|----------|----------|-----------|
| Entre grupos      | 227,7859 | 4  | 56,94648 | 8,884985 | 2,24E-05 | 2,578739  |
| Dentro dos grupos | 288,4183 | 45 | 6,409295 |          |          |           |
| Total             | 516,2042 | 49 |          |          |          |           |

No gráfico 3 podemos verificar os índices de tração em função da variação da concentração de aparas.

GRÁFICO 3- ÍNDICE DE TRAÇÃO



Na tabela 7 mostra os valores das médias de tração.

TABELA 7 -RESULTADO DA COMPARAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES DE TRAÇÃO

| Tratamento          | N  | Subset for alpha = 0.05 |             |
|---------------------|----|-------------------------|-------------|
|                     |    | 1                       | 2           |
| 100% aparas         | 10 | 32,90243868             |             |
| 70% aparas 30% copo | 10 | 33,14697100             |             |
| 80% aparas 20% copo | 10 | 34,07454731             |             |
| 90% aparas 10% copo | 10 | 34,13392518             |             |
| 100% copo           | 10 |                         | 38,75840268 |
| Sig.                |    | ,812                    | 1,000       |

No teste de tração podemos verificar que as aparas de copo influenciaram positivamente nos resultados, o qual pode verificar na amostra de 100% de aparas de copo, que obteve a maior tração, e o menor valor para a amostra de 100% de aparas de papel. Porém, analisando estatisticamente obtiveram dois grupos, considerando quase todos os valores iguais, permanecendo isolada apenas a amostra com 100% copo. Estes valores se explicam, pois, as fibras das aparas de copo eram de boa qualidade e com apenas um ciclo

de utilização, possuindo assim, um comprimento médio das fibras e uma boa qualidade a resistência individual delas.

Na tabela 7 podemos verificar que formaram dois grupos, isso significa que as amostras com misturas de aparas e a amostra de 100% aparas de papel, tiveram valores estatisticamente iguais, isso se explica, pois, as fibras recicladas são menores, e já passaram por pelo menos um ciclo de reciclagem, essas apresentam resistência individual e capacidade de estabelecer ligações menores, além de serem menos higroscópicas.

### 5.1.4 RIGIDEZ

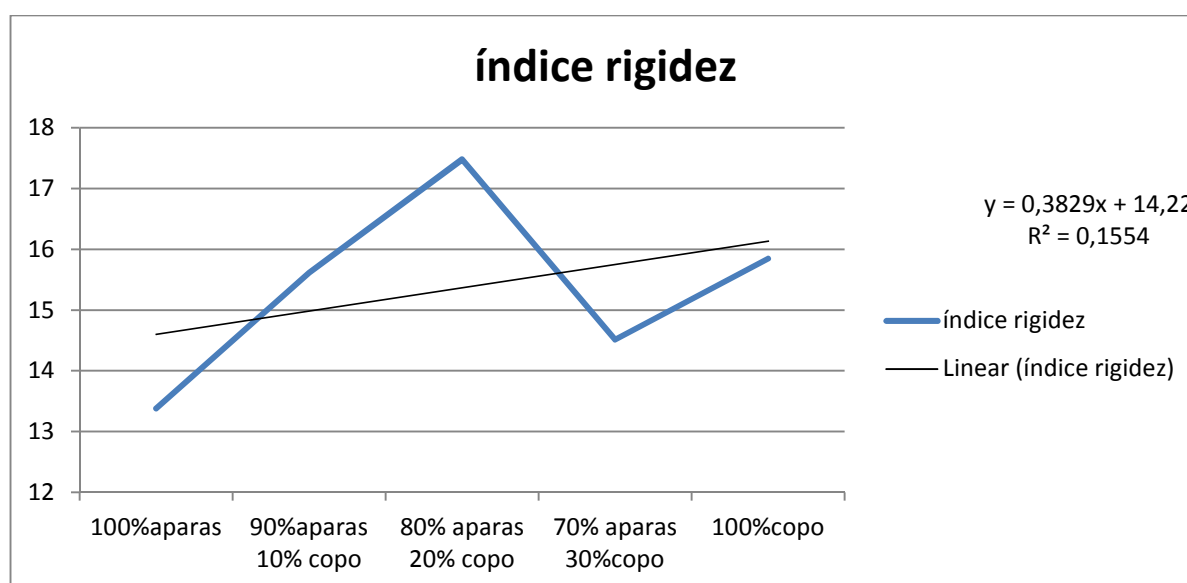
Na tabela 8 estão descritos os valores da análise de variância para rigidez.

TABELA 8- ANOVA DA RIGIDEZ

| Fonte da variação | SQ       | gl | MQ       | F        | valor-P  | F crítico |
|-------------------|----------|----|----------|----------|----------|-----------|
| Entre grupos      | 94,36491 | 4  | 3,59123  | 3,943885 | 0,007915 | 2,578739  |
| Dentro dos grupos | 269,1775 | 45 | 5,981723 |          |          |           |
| Total             | 363,5424 | 49 |          |          |          |           |

No gráfico 4 podemos verificar os índices de rigidez em função da variação da concentração de aparas.

GRÁFICO 4- ÍNDICE DE RIGIDEZ



Na tabela 9 mostra os valores das médias de rigidez.

TABELA 9- RESULTADO DA COMPARAÇÃO ENTRE AS MÉDIAS DE RIGIDEZ

**Índice de Rigidez**

| Tratamento          | N  | Subset for alpha = 0.05 |             |
|---------------------|----|-------------------------|-------------|
|                     |    | 1                       | 2           |
| 100% aparas         | 10 | 13,38142524             |             |
| 70% aparas 30% copo | 10 | 14,51553022             | 14,51553022 |
| 100% copo           | 10 | 15,61565318             | 15,61565318 |
| 90% aparas 10% copo | 10 | 15,84589944             | 15,84589944 |
| 80% aparas 20% copo | 10 |                         | 17,48308575 |
| Sig.                |    | ,179                    | ,068        |

No resultado da análise da variância para a rigidez, verificamos que os valores foram divididos em dois grupos, sendo os grupos estatisticamente iguais. Percebe-se que a amostra com 100% de aparas de papel obteve o menor resultado, isso se deve as fibras terem passados por um ou mais ciclo de utilização, o que acaba degradando as fibras, aumentando sensivelmente a sua superfície e seu volume específico, deixando assim mais flexível e macia. Pode-se supor que a fibra de aparas de papel apresentará uma redução nas suas dimensões e por consequência algumas propriedades serão afetadas, diminuindo assim a rigidez.

O maior valor obtido foi para a mistura 80%Aparas e 20%Copos, isso pode ser explicado devido à boa união entre as fibras das duas aparas, criando assim um bom entrelaçamento entre as fibras, a ponto de suportar uma maior flexão.

### 5.1.5 RASGO

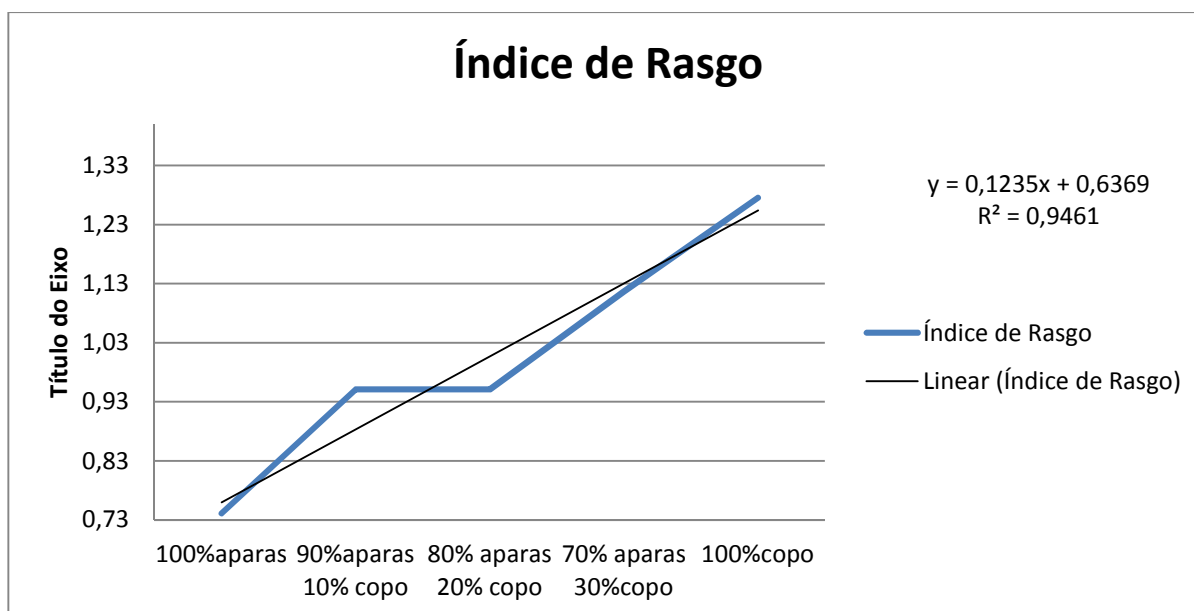
Na tabela 10 estão descritos os valores da análise de variância para rasgo.

TABELA 10- ANOVA DO RASGO

| Fonte da variação | SQ       | gl | MQ       | F        | Valor-P  | F crítico |
|-------------------|----------|----|----------|----------|----------|-----------|
| Entre grupos      | 1,611364 | 4  | 0,402841 | 62,25166 | 9,15E-18 | 2,578739  |
| Dentro dos grupos | 0,291203 | 45 | 0,006471 |          |          |           |
| Total             | 1,902567 | 49 |          |          |          |           |

No gráfico 5 podemos verificar os índices de rasgo em função da variação da concentração de aparas.

GRÁFICO 5- ÍNDICE DE RASGO



Na tabela 11 mostra os valores das médias de rasgo.

TABELA 11- RESULTADO DA COMPARAÇÃO ENTRE AS MÉDIAS DE RASGO

Índice de Rasgo

| Tratamento          | N  | Subset for alpha = 0.05 |            |            |            |
|---------------------|----|-------------------------|------------|------------|------------|
|                     |    | 1                       | 2          | 3          | 4          |
| 100% aparas         | 10 | 0,74687257              |            |            |            |
| 90% aparas 10% copo | 10 |                         | 0,95101821 |            |            |
| 80% aparas 20% copo | 10 |                         | 0,95123851 |            |            |
| 70% aparas 30% copo | 10 |                         |            | 1,11683686 |            |
| 100% copo           | 10 |                         |            |            | 1,26567067 |
| Sig.                |    | 1,000                   | 1,000      | 1,000      | 1,000      |

Na tabela 11 podemos verificar que na análise estatística obtivemos 4 grupos, tendo valores iguais estatisticamente apenas para o grupo três, com as amostras com as misturas de 90% aparas 10% copo 80% aparas 20% copo. O maior valor ficou no grupo 4 composto pela amostra de 100% aparas de copo e o menor no grupo 1 para a amostra de 100% aparas de papel. Podemos explicar esses resultados, pois a resistência ao rasgo é influenciada pelo

comprimento e espessura da parede celular das fibras, supondo uma degradação nessas propriedades nas fibras das aparas de papel devido a seus ciclos de utilizações anteriores. Outra explicação que pode ser dada, devido às fibras das aparas de papel apresentam menor capacidade de estabelecer ligações com outras fibras, causada pela perda parcial do potencial hidrofóbico e perda da flexibilidade da fibra.

### 5.1.6 ARREBENTAMENTO

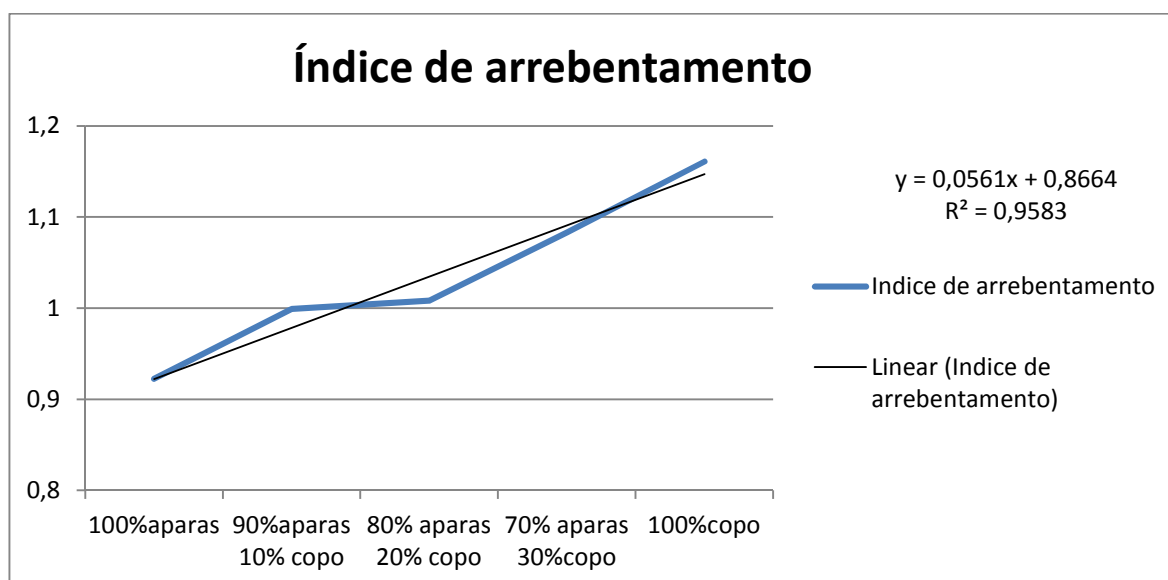
Na tabela 12 estão descritos os valores da análise de variância para arrebentamento.

TABELA 12- ANOVA DO ARREBENTAMENTO

| Fonte da variação | SQ       | gl | MQ       | F        | Valor-P  | F crítico |
|-------------------|----------|----|----------|----------|----------|-----------|
| Entre grupos      | 0,328717 | 4  | 0,082179 | 12,02239 | 9,96E-07 | 2,578739  |
| Dentro dos grupos | 0,307598 | 45 | 0,006836 |          |          |           |
| Total             | 0,636315 | 49 |          |          |          |           |

No gráfico 6 podemos verificar as médias de índice de arrebentamento em função da variação da concentração de aparas.

GRÁFICO 6- ÍNDICE DE ARREBENTAMENTO



Na tabela 13 mostra os valores das médias de arrebetamento

TABELA 13- RESULTADO DA COMPARAÇÃO DE MÉDIAS ARREBETAMENTO

| tratamento          | N  | Índice de Arrebetamento |            |            |
|---------------------|----|-------------------------|------------|------------|
|                     |    | Subset for alpha = 0.05 |            |            |
|                     |    | 1                       | 2          | 3          |
| 100% aparas         | 10 | 0,92249598              |            |            |
| 90% aparas 10% copo | 10 | 0,99899555              | 0,99899555 |            |
| 80% aparas 20% copo | 10 | 1,00839398              | 1,00839398 |            |
| 70% aparas 30% copo | 10 |                         | 1,08305781 | 1,08305781 |
| 100% copo           | 10 |                         |            | 1,16109900 |
| Sig.                |    | ,156                    | ,172       | ,233       |

Analisando estatisticamente pelo método Tukey, podemos verificar que as misturas com 70%aparas e 30%copos tiveram valores consideravelmente iguais ao 100% copo, deixando no mesmo grupo de análise e se mostrando a melhor mistura para o teste de arrebetamento. O grupo 2 também apresentou bons resultados com as misturas 80%aparas20%copo e 70%aparas30%copo, não descartando a possibilidade de sua utilização, valorizando a sua maior concentração de aparas de copos, o qual daria utilidade a essa matéria prima evitando o acúmulo desse material em aterros sanitários.

Possivelmente as amostras com maior concentração de aparas de copo tiveram melhores resultados devido ao comprimento da fibra das aparas de papel serem inferiores ao comprimento das fibras de copo, esse fator favoreceu a queda no índice de arrebetamento, que é fortemente influenciado pelas condições da parede celular das fibras, já que a deformação causada pelo diafragma do aparelho Müllen, gera zonas de tração e compressão no papel.

Outro aspecto que pode ter causado a queda no índice, é que devido as fibras das aparas de papel já terem passado por mais de um processo de secagem, essas sofreram modificações físicas e químicas, perdendo assim parte das propriedades de resistência.

### 5.1.7 ESMAGAMENTO DE ANEL (RCT)

Na tabela 14 estão descritos os valores da análise de variância para esmagamento do anel.

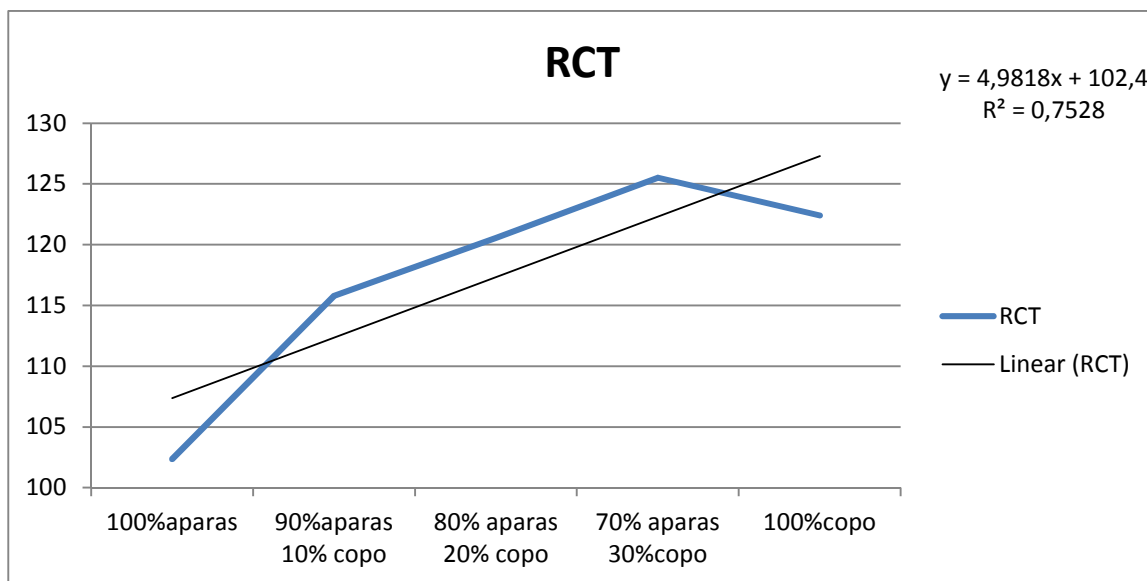
TABELA 14- ANOVA DO ESMAGAMENTO DO ANEL

| Fonte da variação | SQ       | gl | MQ       | F        | Valor-P  | F crítico |
|-------------------|----------|----|----------|----------|----------|-----------|
| Entre grupos      | 3296,641 | 4  | 824,1603 | 12,78008 | 4,97E-07 | 2,578739  |
| Dentro dos grupos | 2901,955 | 45 | 64,4879  |          |          |           |
| Total             | 6198,596 | 49 |          |          |          |           |

Na tabela 15 mostra os valores das médias de esmagamento de anel.

No gráfico 7 podemos verificar as médias de índice de esmagamento de anel em função da variação da concentração de aparas.

GRÁFICO 7- ÍNDICE DE ESMAGAMENTO DE ANEL



Na tabela 15 mostra os valores das médias de esmagamento de anel.

TABELA 15- RESULTADO DA COMPARAÇÃO DE MÉDIAS DO ESMAGAMENTO DO ANEL

| Tratamento          | N  | Índice de RCT           |              |
|---------------------|----|-------------------------|--------------|
|                     |    | Subset for alpha = 0.05 |              |
|                     |    | 1                       | 2            |
| 100% aparas         | 10 | 102,37913458            |              |
| 90% aparas 10% copo | 10 |                         | 115,81064480 |
| 80% aparas 20% copo | 10 |                         | 120,57678597 |
| 70% aparas 30% copo | 10 |                         | 125,42588187 |
| 100% copo           | 10 |                         | 122,53480637 |
| Sig.                |    | 1,000                   | ,069         |

No resultado da comparação de médias do esmagamento do anel, verificamos que os valores foram divididos em 2 grupos. Percebe-se que a amostra com 100% de aparas de papel obteve o menor resultado, esse resultado pode ser explicado da mesma forma que no processo de rigidez, isso se deve as fibras já terem passados por um ou mais ciclo de utilização, o que acaba degradando suas fibras, aumentando sensivelmente a sua superfície e seu volume específico, deixando assim mais flexível e macia. Pode-se supor que a fibra de aparas de papel apresentará uma redução nas suas dimensões e por consequência algumas propriedades serão afetadas, diminuindo assim a resistência ao esmagamento do anel.

O maior valor obtido foi para a amostra com 70%aparas 30%copo, isso pode ser explicado devido à boa união entre as fibras das duas aparas, criando assim um bom entrelaçamento entre as fibras, a ponto de suportar uma maior pressão sobre o anel. Já com as amostras 80%aparas20%copo e 90%aparas10%copo, foi boa resistência porem não em uma quantidade necessária para ocorrer um bom entrelaçamento entre ambas as fibras.

## 6 CONCLUSÕES

Em razão dos resultados obtidos e das análises realizadas no estudo, as seguintes conclusões podem ser apresentadas:

-Para o teste de gramatura conseguimos uma gramatura mais perto da desejada nas misturas com maior concentração de aparas de copo, devido a menor concentração de finos, não tendo perda da massa na formação do papel.

-Na propriedade óptica do papel testado, tivemos uma melhor alvura para amostras com maior concentração de aparas de copo, isso devido ao seu bom nível de branqueamento.

-Para os testes de tração, arrebentamento, esmagamento de anel, rasgo e rigidez, verificou-se uma melhora nos resultados, até mesmo nas misturas com menores porcentagens de fibras de copos acrescentadas, tendo quase sempre com o melhor desempenho nas amostras com 100% de aparas de copo, com exceção nos testes de rigidez e do esmagamento do anel, que tiveram as misturas de aparas com o melhor desempenho, podendo ser explicado por uma melhor união entre as fibras, proporcionando essa melhora.

## **7 RECOMENDAÇÕES**

Em função dos resultados e conclusões obtidas neste estudo, as seguintes recomendações são sugeridas:

- Estudos para verificar a oferta de aparas de copo disponível;
- Verificar os custos para obtenção das fibras de aparas de copo, incluindo o processo de hidratação, desagregação, depuração.
- Propor estudo de novas concentrações para as misturas, verificando um valor ideal.
- Efetuar um estudo para que possa encontrar uma utilização para o filme plástico, resultado da separação das aparas.
- Analisar o rendimento de fibras e de filme plástico, caracterizando as aparas.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL (BRACELPA). **Relatório Florestal 2009/2010**. Disponível em <[http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/public/RA02\\_Relatorio\\_Florestal\\_2010.pdf](http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/public/RA02_Relatorio_Florestal_2010.pdf)> acesso em 12 de fevereiro de 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL (ABTCP). **O uso de aparas na fabricação de papel**. São Paulo, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL (ABTCP). **Técnicas de Fabricação de papéis e cartões para embalagem**. São Paulo, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL (ABTCP). **Tratamento de aparas para a fabricação de papéis**. São Paulo, 2004.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS APARISTAS DE PAPEL.(ANAP). **Informativo O Setor**, 2011. Disponível em <<http://www.anap.org.br/osetor.asp>> acesso em 3 de fevereiro 2012.
- IPT . **Celulose e papel** . vol 1. São Paulo, 1981.
- IPT . **Celulose e papel** . vol 2. São Paulo, 1982.
- KLOCK, U.; MUÑIZ, G.I.B.; HERNANDEZ, J.A.; ANDRADE, A. S. **Química da madeira**. 3. ed., Curitiba, FUPEF, 2005. 85 f.
- KLOCK, U.; Nota de aula **Fábrica do Papel 2010**. Disponível em <[http://www.madeira.ufpr.br/ceim/index.php?option=com\\_content&view=article&id=141:polpa-e-papel&catid=20:polpa-e-papel&Itemid=81](http://www.madeira.ufpr.br/ceim/index.php?option=com_content&view=article&id=141:polpa-e-papel&catid=20:polpa-e-papel&Itemid=81)>. Acesso em 9 de fevereiro de 2012.
- MAYING SOONG. *Chinese Paper Folding for Beginners*. Courier Dover Publications. pp. 6–7. ISBN 0-486-41806-5. — how to make a paper cup out of a square of paper using origami; 2002
- Martin B. Hocking (November 1991). "Relative merits of polystyrene foam and paper in hot drink cups: Implications for packaging". *Environmental Management* (Springer New York) **15** (6): 731–747. doi:10.1007/BF02394812.
- Martin B. Hocking (November 1994). "Reusable and disposable cups: An energy-based evaluation". *Environmental Management* (Springer New York) **18** (6): 889–899. doi:10.1007/BF02393618.
- Allyn Freeman and Bob Golden (1997). "Little Dipper". *Why Didn't I Think of That? : Bizarre Origins of Ingenious Inventions We Couldn't Live Without*. John Wiley and Sons. pp. 183–184. ISBN 0-471-16511-5. — the Dixie Cup