

# A INFLUÊNCIA DA HOMOGENEIDADE DAS APARAS NA RECICLAGEM DO PAPEL

Authors\*: Márcia B. Cardoso<sup>1</sup>  
Patrícia Kaji Yasumura<sup>1</sup>  
Karina B. M. G. Porto<sup>1</sup>  
Caroline H. Costa<sup>1</sup>  
Daniela Colevati Ferreira<sup>1</sup>  
Renato R. Fioritti<sup>1</sup>  
Maria Luiza Otero D'Almeida<sup>1</sup>

## RESUMO

Pressões ambientais têm colocado em destaque a reciclagem de materiais. No caso do papel essas pressões levam à expectativa de crescimento das taxas de recuperação de fibras de produtos pós consumo de papel e obtenção de fibras recicladas de melhor qualidade. O uso de aparas de materiais de mesmo tipo permite a aplicação de tecnologia de reciclagem desenhada para o perfil do material em questão e obtenção de fibras de melhor qualidade e menor contaminação. Estima-se que no Brasil sejam descartadas anualmente cerca de 150 mil toneladas de papel proveniente de livros didáticos da rede pública de ensino, quantidade que pode ser ainda maior quando considerados livros procedentes da rede particular de ensino. Este estudo teve como objetivo verificar o comportamento de amostras de aparas de livros didáticos em relação à reciclagem. Para a realização deste estudo foram preparadas duas amostras, uma composta por aparas do miolo dos livros (Amostra A) e outra por aparas do miolo e das capas, na proporção normalmente encontrada nos livros (Amostra B). As amostras foram submetidas a dois tratamentos distintos: desagregação em água e polpação seguida de destintamento por flotação. Com relação aos processos de reciclagem, a desagregação em água leva a papéis com alto teor de sujidade, o que limita sua aplicação a produtos que não exijam requisitos de aparência. Por outro lado a polpação seguida de destintamento, no caso de aparas somente do miolo do livro, leva a pastas com pouca sujidade e alvura equivalente à alvura média encontrada nos papéis desses livros, normalmente produzidos com fibras virgens branqueadas. Além disso, a reciclagem empregando operações de polpação e destintamento por flotação nas condições deste estudo não tem influência significativa nas propriedades de resistência do papel, isso apesar do processo de flotação levar a certa melhora nessas propriedades por eliminar parte dos finos presentes na pasta celulósica. Os resultados obtidos

neste trabalho permitiram concluir que livros apresentam características semelhantes, que levam à obtenção de aparas homogêneas facilitadoras dos processos de reciclagem. Contudo, há necessidade de logística para viabilizar seu uso como nicho específico de aparas, pois que o descarte de livros didáticos é pulverizado, concentrado basicamente em determinada época do ano.

**Palavras-chave:** flotação, papel, polpação, reciclagem.

## INTRODUÇÃO

O Brasil recicla atualmente em torno de 4 milhões de toneladas de papel por ano, o que representa 43,5% do total de papéis consumidos no país durante o ano (BRACELPA, 2011). A respeito vale lembrar que do total de papéis consumidos no país alguns não são recicláveis – caso do papel sanitário usado - e outros não estão disponíveis para reciclagem, como documentos e registros.

O processo de reciclagem, embora na maioria dos casos represente redução do uso de recursos naturais (D'Almeida e Neves, 2000), é considerado por Holik (2000) mais complexo do que o processo de obtenção de fibras virgens. Isto por duas razões: os papéis recuperados consistem geralmente de uma mistura de vários tipos de fibras ou categoria de papéis, e também certa quantidade de contaminantes e outras substâncias prejudiciais ao processo de reciclagem.

As substâncias contaminantes podem ser: aditivos incorporados na formulação do papel (cargas minerais, corantes, revestimentos e outros agentes químicos funcionais); substâncias adicionadas ao papel conforme seu destino final (tintas de impressão, laminações, adesivos); materiais misturados ao papel durante seu ciclo de vida e/ou coleta (clipes, arames, elásticos e impurezas como areia e pedriscos).

As fibras celulósicas recicladas devem atender a critérios de qualidade próprios a determinado produto. Os critérios de qualidade não

---

### \* Referências dos autores:

1. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – São Paulo - Brasil

**Autor correspondente:** Márcia Barreto Cardoso. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. Av. Prof. Almeida Prado, 532, Butantã. São Paulo. 05508-901. Brasil. Telefone: +55-11-37674407. E-mail: marciabc@ipt.br

dizem respeito apenas às características das fibras em si, mas também à presença de contaminantes. Deste modo, o processo de reciclagem tem como objetivo isolar fibras celulósicas com as melhores características possíveis e com a menor quantidade de contaminantes que o processo empregado permita. Os processos de reciclagem se apóiam em operações mecânicas e algumas vezes de destintamento (normalmente polpação com soda e flotação), sendo que a qualidade desejada para o produto final rege não apenas as operações que serão empregadas, mas também sua própria extensão.

Pressões ambientais vêm colocando em destaque a reciclagem de materiais. No caso do papel essas pressões levam à expectativa de aumento das taxas de recuperação de papel pós consumo e da obtenção de fibras recicladas de melhor qualidade (Ackermann *et al.*, 2000), o que demanda avanços tecnológicos nos processos de reciclagem. Uma tendência é o uso de aparas procedentes de tipos específicos de produtos de papel, que permitiriam a aplicação de tecnologia de reciclagem desenhada para o perfil do material em questão e a obtenção de fibras de melhor qualidade e menor contaminação. Como exemplo, tem-se a reciclagem de embalagens cartonadas para líquidos - embalagens longa vida - e de papel siliconado destinado a etiquetas autoadesivas. Para os dois casos já existem unidades industriais de reciclagem que operam com essa classe de aparas e consideram suas particularidades.

Considerando a tendência mencionada, este estudo enfocou um tipo de apara particular que é a de livros didáticos. Segundo a norma brasileira ABNT NBR 14869 (2012), livros didáticos são aqueles que se destinam à aprendizagem de conhecimentos contidos nas matérias oficiais de ensino fundamental e ensino médio, permitindo ao aluno incorporar o conhecimento de forma estruturada e progressiva.

No Brasil, quando se fala em livro didático não há como não mencionar o Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) do Ministério da Educação, tanto pelo volume de livros que envolve como por ser o mais antigo dos programas voltados à distribuição de obras didáticas aos estudantes da rede pública de ensino. Iniciou-se com outro nome em 1929 e recebeu a denominação atual apenas em 1985, com a edição do Decreto nº 91.542, de 19/8/85 (FNDE, 2011).

Se for considerado o número de livros didáticos distribuídos na rede pública de ensino em 2011, e que têm como características médias: papel miolo de 75 g/m<sup>2</sup>; formato de 20,5 cm x 27,5 cm e 250 páginas, resultaria um total de 150 mil toneladas de papel que será descartado anualmente e que poderia ser reciclado. Este número será ainda maior se for adicionado o de livros procedentes da rede particular de ensino.

Os livros didáticos são usualmente impressos em quatro cores, e a maioria apresenta, como acabamento, lombada quadrada e miolo colado com cola de poliuretano. A capa é de cartão de 250 g/m<sup>2</sup>, normalmente laminada ou envernizada.

Este estudo teve como objetivo verificar o comportamento na reciclagem de amostras de aparas de livros didáticos formadas apenas com: a) o miolo do livro e b) com mistura proporcional do miolo e da capa.

## MÉTODOS

Foram selecionados aleatoriamente seis títulos de livros didáticos procedentes de editoras distintas. Foram preparadas duas amostras para os ensaios de reciclagem: uma de somente aparas do miolo dos livros (Amostra A) e outra por aparas do miolo e das capas, na proporção encontrada nos livros (Amostra B). Na confecção das aparas não foram utilizadas as lombadas dos livros, que foram descartadas. A **Figura 1** mostra aparas da capa e do miolo.



**Figura 1.** Aparas do miolo (A) e das capas (B) dos livros utilizados

As Amostras A e B foram submetidas a dois tratamentos diferentes: desagregação em água e polpação seguida de destintamento por flotação.

### Desagregação em água

A desagregação das Amostras A e B foi efetuada em meio aquoso conforme norma ABNT NBR ISO 5263-1 (2005). Nas pastas obtidas foram determinados o grau de resistência à drenagem, o teor de cinzas e o de extrativos, conforme normas: ABNT NBR 14031 (2004), ABNT NBR 13999 (2003), ABNT NBR 14578 (2000). Com as pastas resultantes foram preparadas folhas em laboratório segundo norma ABNT NBR ISO 5269-1 (2006). Nas folhas formadas foram determinadas a resistência à tração (norma ABNT NBR NM ISO 1924-2 (2001) e a resistência à tração zero-span (norma TAPPI T 231 cm (2007). Para o cálculo do índice de tração foi determinada também a gramatura conforme norma ABNT NBR NM ISO 536 (2000).

## Polpação

Em uma autoclave eletrônica (modelo AU/E-20, da Regmed Indústria Técnica de Precisão Ltda.) 400 g de aparas previamente ume-decidas foram suspensas em 15,6 L de água adicionada de 20 g de hidróxido de sódio. A polpação foi realizada à temperatura de 121°C durante 5 minutos. Após esse período a dispersão fibrosa resultante foi filtrada e lavada através de tela 200 mesh, e a pasta recolhida. Nas pastas obtidas foi determinado o grau de resistência à drenagem (método ABNT NBR 14031(2004) e depois preparadas folhas em laboratório (método ABNT NBR ISO 5269-1 (2006). Nas folhas formadas foram determinadas a alvura, a resistência à tração e a resistência à tração zero-span, seguindo, respectivamente, os procedimentos das normas ABNT NBR NM ISO 2470 (2001), ABNT NBR NM ISO 1924-2 (2001) e TAPPI T 231 cm (2007).

O efluente procedente da filtração da pasta foi recolhido e determinados o teor de sólidos totais (evaporação em banho de água e secagem do resíduo em estufa), o teor de sólidos suspensos (resíduo retido em filtro de porosidade de 1 µm) e a cor (valor da absorbância do filtrado em 465 nm convertida em unidades de cor mediante curva padrão construída a partir de soluções de platina-cobalto de concentrações diferentes).

## Destintamento

Frações de pastas celulósicas procedentes da polpação foram submetidas a processo de destintamento por flotação. Em uma célula de flotação (modelo FORMAX Deink Cell, número de catálogo L-100, da Adirondack Machine Corporation) foram suspensos 100 g de pasta celulósica em 25 L de água e 1 mL de detergente comercial. A pasta celulósica permaneceu na célula de flotação à temperatura de 25°C e vazão de ar de 9,5 L/min por 20 min. Após este período a pasta foi filtrada e lavada através de tela 200 mesh e então recolhida.

Nas pastas destintadas o grau de resistência à drenagem foi deter-

minado segundo norma ABNT NBR 14031(2004). Foram preparadas folhas em laboratório com as pastas segundo procedimento ABNT NBR ISO 5269-1 (2006). Nas folhas formadas foram determinadas a alvura, a resistência à tração e a resistência à tração zero-span, conforme, respectivamente, as normas ABNT NBR NM ISO 2470 (2001), ABNT NBR NM ISO 1924-2 (2001) e TAPPI T 231 cm (2007).

Os efluentes procedentes da flotação foram analisados do modo descrito no item Polpação. Um dos efluentes consistia da fração líquida recolhida na filtração da pasta e o outro da espuma formada no processo e escumada. No caso da espuma foram colocadas gotas de álcool etílico para agilizar o processo de sua liquefação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Desagregação em água

As pastas resultantes da desagregação das Amostras A e B apresentaram o mesmo grau de resistência à drenagem: 27°SR. Na **Tabela 1** constam os resultados dos ensaios realizados nas pastas e nas folhas formadas.

Analisando os dados da Tabela 1 constata-se que no tratamento de desagregação em água os resultados para os ensaios de resistência não apresentam variações significativas entre as Amostra A e B. Com relação aos valores de teor de cinzas, ambas as amostras perderam em torno de 40% da carga mineral presente nos papéis que as originaram. Esta carga, que era de aproximadamente 18%, passou a ser por volta de 11%.

Para as duas amostras foi observada a presença de pintas em grande quantidade nas folhas formadas, sendo que nas folhas da Amostra B há vestígios de fragmentos de capa de livro não desagregados (**Figura 2**).

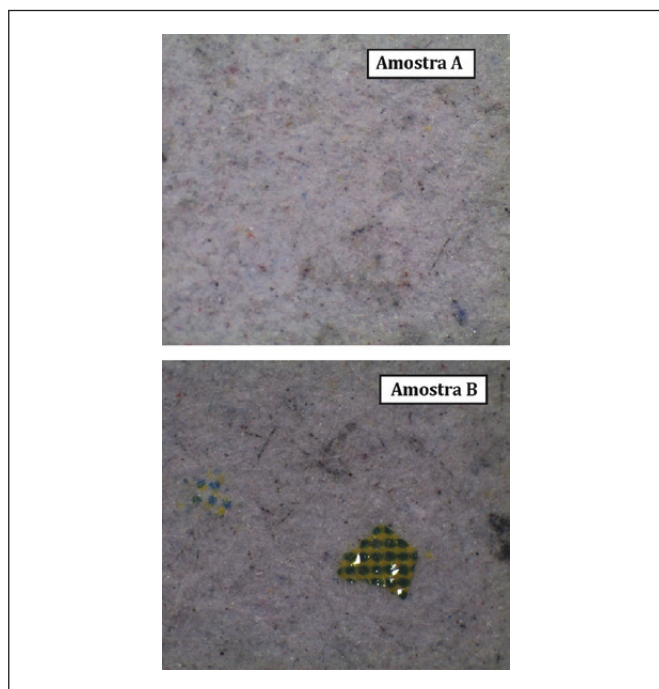
**Tabela 1.** Resultados dos ensaios realizados nas folhas formadas após a desagregação das aparas

Ensaio	Propriedades	Amostra A (aparas do miolo)	Amostra B (aparas miolo + aparas capa)
Na pasta	Cinzas, %	10,4 ± 0,28	11,54 ± 0,43
	Extrativos, %	0,23 ± 0,02	0,17 ± 0,03
Na folha	Gramatura, g/m <sup>2</sup>	81,9	75,9
	Espessura, mm	0,146 ± 0,004	0,136 ± 0,005
	Resistência à tração, kN/m	2,60 ± 0,12	2,54 ± 0,09
	Índice de tração, N.m/g	31,7	33,5
	Resistência à tração zero-span, kN/m	9,2 (0,5)	8,2 (0,4)
	Resistência na direção z, N/m	255,56 (20,4)	250,0 (12)

#### Notas:

1) Os papéis do miolo do livro que originaram as aparas possuíam: para o teor de cinzas, uma média de 18,6%; para o índice de tração, média de 65,2 N.m.g<sup>-1</sup> na direção longitudinal e 31,9 N.m.g<sup>-1</sup> na direção transversal.

2) Os números entre parênteses referem-se ao desvio padrão de determinações paralelas.



**Figura 2.** Imagens de folhas formadas com as Amostras A e B, com aumento de 25x

### Polpação e destintamento

Na **Tabela 2** encontram-se os rendimentos obtidos na polpação e no processo de destintamento (flotação) efetuado com as pastas

**Tabela 2.** Rendimento dos processos de polpação e destintamento

	Amostra A		Amostra B	
	Polpação	Flotação	Polpação	Flotação
Rendimento, %	87	77	92	78
Rendimento global, %	67		72	

**Nota:** os rendimentos foram calculados considerando base seca.

**Tabela 3.** Resultados de ensaios efetuados nas pastas e nas folhas formadas

Ensaio	Propriedade	Amostra A		Amostra B	
		Polpação	Flotação	Polpação	Flotação
Na pasta	Resistência à drenagem, °SR	26,5	22,5	24,5	23,5
Nas folhas	Gramatura, g/m <sup>2</sup>	65,55	66,14	65,80	66,09
	Espessura, mm	0,123±0,004	0,123±0,004	0,127±0,004	0,123±0,004
	Alvura, %	74,67±0,20	85,59±0,21	74,14±0,85	82,91±0,31
	Resistência à tração, kN/m	2,16±0,26	2,58±0,19	2,16±0,22	2,46±0,47
	Índice de tração, N.m/g	33,0	39,0	32,8	37,2
	Resistência à tração zero span, kN/m	7,55±0,41	7,99±0,26	7,28±0,30	8,12±0,07

**Tabela 4.** Resultados obtidos para os efluentes

Ensaio	Amostra A			Amostra B		
	Polpação	Flotação		Polpação	Flotação	
		Fração líquida	Fração escumada		Fração líquida	Fração escumada
Sólidos totais, mg/L	3727	554	2774	3344	357	8149
Sólidos suspensos, mg/L	670	429	2476	79	310	6789
Cor, unidades de cor	340	0,67	151	1080	4,67	159

**Nota:** na fração escumada, as análises foram efetuadas após tornar-se líquida. Para agilizar este processo foram aplicadas gotas de álcool etílico

procedentes da polpação. Na polpação, a maior perda ocorre no processo de transferência da suspensão de fibras do desagregador para a peneira. Na flotação, o rendimento é menor do que o ocorrido na polpação, fato esperado porque a espuma que arrasta substâncias coloridas também arrasta certa quantidade de fibras.

Na **Tabela 3** são apresentados os resultados dos ensaios efetuados com as pastas procedentes da polpação, da flotação e dos ensaios efetuados nas folhas formadas com essas pastas.

Observando os dados da Tabela 3, verifica-se que não há diferença significativa nas propriedades de resistência, tanto entre os processos de polpação e flotação como entre as Amostras A e B. Por outro lado, a aparência das folhas formadas apresenta diferenças que podem ser observadas visualmente e confirmadas por seus valores de alvura. O destintamento pelo processo de flotação promove, como esperado, um ganho significativo de alvura, sendo os valores obtidos neste estudo (85,59% e 82,92%) da mesma ordem do valor médio (86,05%) obtido na medição da alvura, com UV excluído, dos papéis do miolo dos livros didáticos utilizados nessa pesquisa.

Na **Tabela 4** são apresentados os resultados obtidos na análise dos efluentes procedentes da polpação e da flotação. Os sólidos totais na fração líquida da flotação são menores do que os da fração escumada, pois nesta última se encontram materiais coloridos, assim como finos de fibras celulósicas. Quanto aos sólidos suspensos, os valores obtidos estão coerentes com os processos e com os outros parâmetros analisados. A cor do efluente da Amostra B é significativamente maior do que a da Amostra A, devido as aparas da primeira conterem capas de livro,



que possuem maior cobertura de tinta. Na flotação, a cor se concentra mais na fração escumada, o que é esperado, pois a função da espuma é retirar a tinta. De um modo geral, a carga poluente procedente da Amostra B é maior do que a da Amostra A.

## CONCLUSÕES

Os livros didáticos apresentam características semelhantes, o que gera aparas homogêneas facilitadoras do processo de reciclagem.

A reciclagem empregando apenas a desagregação com água, nas condições usadas neste estudo, leva a papéis com alto teor de sujidade (pintas e pedaços de papel não desagregado). Este fato limita a aplicação da pasta celulósica obtida. Ela pode ser direcionada a produtos que não exijam requisitos de aparência, como miolo de cartões multicamada e miolo corrugado de chapas de papelão ondulado. No processo de desagregação com água, a separação do miolo de livros de sua capa não representou ganhos significativos em relação às propriedades de resistência analisadas, mas melhorou a aparência das folhas formadas.

A reciclagem empregando as condições de polpação e destintamento por flotação nas condições usadas neste estudo leva a papéis com pouca ou quase nenhuma sujidade (pintas). Para as aparas formadas apenas pelo miolo dos livros didáticos obtiveram-se folhas com alvura equivalente à média encontrada nos papéis desses livros, papel normalmente produzido com fibras

virgens branqueadas de eucalipto. Para as aparas formadas por miolo e capa misturados nas proporções encontradas no livro, a alvura ficou cerca de 4% menor.

A reciclagem empregando as operações de polpação e destintamento por flotação nas condições usadas neste estudo não tem influência significativa sobre as propriedades de resistência do papel. O processo de flotação exerce uma pequena melhora nestas propriedades, provavelmente devido à eliminação de parte dos finos presentes na pasta celulósica.

Na polpação e destintamento por flotação nas condições aplicadas, as aparas que contêm capas geram efluentes com maior carga poluente do que as aparas que contêm somente o miolo do livro. Isto ocorre porque as capas são revestidas, contêm alta carga de pigmentos coloridos e também laminação ou verniz.

Embora haja anualmente um descarte significativo de livros didáticos, esse descarte é pulverizado e se concentra praticamente em determinada e curta época do ano. Dessa forma haveria necessidade de logística para viabilizar seu uso como nicho de aparas, o que possibilitaria a aplicação de condições de processo especialmente desenvolvidas para esse nicho. ■

## Agradecimentos

À Escola SENAI de Artes Gráficas Theobaldo de Nigris pela fragmentação das aparas utilizadas neste estudo.

## REFERENCES

1. ACKERMANN, C.; GÖTTSCHEG, I.; PAKARINEN, H. *Papermaking Potential of recycled fiber*. In: GULLICHSEN, J.; PAULAPURO, H. (Eds.). *Papermaking Science and Technology*. Finish Paper Engineer's Association e TAPPI PRESS, 2000, Livro 7 (Recycled Fiber and Deinking), p. 359-438.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM ISO 536:2000** - *Papel e cartão - Determinação da gramatura*. Rio de Janeiro, 2000. 6 p.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM ISO 1924-2:2001**. *Papel e cartão - Determinação das propriedades de tração - Parte 2: Método da velocidade constante de alongamento*. Rio de Janeiro, 2001. 14 p.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM ISO 2470:2001** - *Papel, cartão e pastas celulósicas - Medida do fator de reflectância difusa no azul (alvura ISO)*. Rio de Janeiro, 2006. 11 p.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 5263-1:2005** - *Pastas celulósicas - Desagregação a úmido em laboratório - Parte 1: Desagregação de pastas celulósicas químicas*. Rio de Janeiro, 2005. 7 p.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 5269-1:2006** - *Pastas celulósicas - Preparação de folhas em laboratório para ensaios físicos - Parte 1: Método do formador de folhas convencional*. Rio de Janeiro, 2006. 8 p.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13999: 2003** - *Papel, cartão, pastas celulósicas e madeira - Determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525°C*. Rio de Janeiro, 2003. 4 p.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14031:2004** - *Pasta celulósica - Determinação da resistência à drenagem pelo aparelho Schopper-Riegler*. Rio de Janeiro, 2004. 8 p.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM ISO 14578:2000** - *Pasta celulósica - Determinação do material solúvel em acetona*. Rio de Janeiro, 2000. 4 p.
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14869:2012** - *Tecnologia gráfica - Livros - Parte 1: Classificação e Parte 2: Livros didáticos*
11. BRACELPA (Associação Brasileira de Celulose e Papel) *Relatório Estatístico*. Disponível em <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/?q=node/461>> Acesso em 30/11/2011.
12. D'ALMEIDA, M. L. O.; NEVES, J. M. *Processamento do Lixo - Reciclagem do Papel*. In: D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. (Coords.) *Lixo Municipal: Manual de gerenciamento integrado*. São Paulo: IPT / Cempre, 2000 (IPT - Publicação 2622).
13. FNDE. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. Disponível em <<http://www.fnde.gov.br/index.php/pnld-pnld-e-pnlem>> Acessado em 30/11/2011.
14. HOLIK, H. *Unit operations and equipment in recycled fiber processing*. In: GULLICHSEN, J.; PAULAPURO, H. (Eds.). *Papermaking Science and Technology*. Finish Paper Engineer's Association e TAPPI PRESS, 2000, Livro 7 (Recycled Fiber and Deinking), p. 91-209.
15. TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI T 231 cm:2007** - *Zero-span breaking strength of pulp (dry zero-span tensile)*. Atlanta, 2007. 8 p. pulp (dry zero-span tensile). Atlanta, 2007. 8 p.