

INCERTEZA PARA ENSAIOS DESTRUTIVOS - O CASO DE ARREBENTAMENTO DE PAPEL

*Olga Satomi Yoshida, Maria Luiza Otero D'Almeida, Karina Pretto,
Regina Coeli Testa Takahashi*

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Av. Professor Almeida Prado, 532, CEP 05508-901, São Paulo, SP, Telefone (0XX11) 3767-4756/4449. E-mails: olga@ipt.br, malu@ipt.br, kpretto, rctesta@ipt.br.

1 Introdução

O cálculo de incerteza baseia-se na identificação e quantificação de todas as fontes de variação que interferem no resultado final da medição.

Uma fonte de variação importante a ser considerada é a variabilidade dada pela repetitividade do instrumento, obtida quando são feitas várias medições da mesma unidade experimental e observa-se a variância dos resultados.

Em alguns casos, o método de obtenção dos resultados não permite que várias medidas sejam feitas em uma mesma unidade experimental, especialmente quando estão envolvidos ensaios destrutivos.

Nesses casos, a medida de variabilidade do instrumento não pode ser obtida diretamente; é necessário encontrar meios indiretos de obtenção desses resultados, como, por exemplo, a medição de unidades amostrais em condições o mais homogêneas possível.

No caso específico do arrebentamento de papel, além dos resultados estarem sendo obtidos por meio de ensaios destrutivos, tem-se outro agravante, o fato do material ensaiado apresentar variação de formação ao longo de sua extensão, o que implica na obtenção de corpos-de-prova que, ao serem ensaiados, não devem dar o mesmo valor, principalmente para os parâmetros relacionados à resistência física do papel, como é o caso.

Para fins de ilustração, propõe-se o cálculo de incerteza para um ensaio destrutivo de resistência ao arrebentamento de papel, realizado no Laboratório de Papel e Revestimento do Agrupamento Celulose e Papel da Divisão de Produtos Florestais do IPT. Esta resistência é dada pela pressão máxima que uma única folha de papel pode suportar sob as condições de ensaio. Esta pressão é uniformemente distribuída e aplicada perpendicularmente à superfície do papel.

A resistência ao arrebentamento depende do tipo de fibra presente no papel, da gramatura deste (massa por área) e da sua formação. Este parâmetro independe da direção de fabricação do papel utilizado para efetuar o ensaio. A resistência tende a aumentar com o aumento da ligação entre as fibras, que é o que ocorre quando se manufatura o papel com uma pasta celulósica refinada.

Para a realização deste experimento, foram selecionados dois papéis ofsete de gramaturas diferentes, respectivamente, 90 g/m² e 75g/m², sendo cada um procedente de um bobina. Para cada um dos papéis foram preparados 20 corpos-de-prova e em cada um deles realizado o ensaio de resistência ao arrebentamento.

2 Metodologia

O cálculo de incerteza inicia-se com a definição de qual a grandeza será avaliada e com a identificação de todas as fontes possíveis de variação que possam vir a interferir nos resultados.

Para o ensaio de arrebentamento de papel, temos a resistência ao arrebentamento, quantificada como a pressão (em kPa) medida no momento em que há o arrebentamento do corpo-de-prova.

Foram identificadas fontes de incerteza referentes à: repetitividade e calibração do equipamento; correção da medição; desvio em torno da média; e heterogeneidade do papel avaliado. Além dessas, a incerteza referente ao laboratório é outra fonte a ser considerada; esta engloba as incertezas dos procedimentos, técnicos executores do ensaio, condições ambientais do laboratório e qualquer outra fonte que venha a interferir no resultado final da medição.

Por este se tratar de um estudo piloto, a variação do laboratório, embora seja uma fonte presente de variação, não foi considerada neste trabalho. Será necessária a realização de mais experimentos para a obtenção da proporção da incerteza referente a esta fonte de variação.

A quantificação da incerteza referente à calibração e desvios de medição foi obtida por meio do certificado de calibração do equipamento utilizado. Já a incerteza devido ao desvio da média e da heterogeneidade do papel foi calculada com base nos resultados de análise obtidos no ensaio.

O próximo estágio refere-se à escolha do modelo para o cálculo da incerteza e definição da participação das fontes envolvidas. O modelo é proposto com a finalidade de se obter a incerteza para uma medida e não para um conjunto de medidas.

A execução do ensaio segue um método que consiste em colocar um corpo-de-prova sobre um diafragma, elástico circular, que tem suas bordas rigidamente presas, mas a sua superfície livre. Em seguida, um fluido hidráulico é bombardeado a uma velocidade constante expandindo o diafragma até a ruptura do corpo-de-prova. O método seguido é normalizado, segundo a norma NBR 2758, quando o material ensaiado for papel, e a norma NBR 2759, quando o material for papelão.

Os resultados experimentais foram obtidos utilizando o aparelho Mullen Tester, apresentado na **Figura 1** e comumente utilizado em testes como este.

A **Figura 2** apresenta em destaque um corpo-de-prova após ser ensaiado. É possível observar a deformação no corpo-de-prova causada pelo ensaio, característico de um ensaio destrutivo.



Figura 1 - Aparelho Mullen Tester utilizado no ensaio.



Figura 2 - Detalhe do corpo-de-prova após o ensaio.

A resistência ao arrebentamento (P) é dada pela pressão média das leituras de resistência ao arrebentamento, medidas em quilopascal (Kpa).

$$P = (X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n) / n$$

onde:

P: Resistência ao arrebentamento

X_i : Pressão medida no n-ésimo corpo-de-prova, $i=1\dots n$

n: número de corpos-de-prova ensaiados.

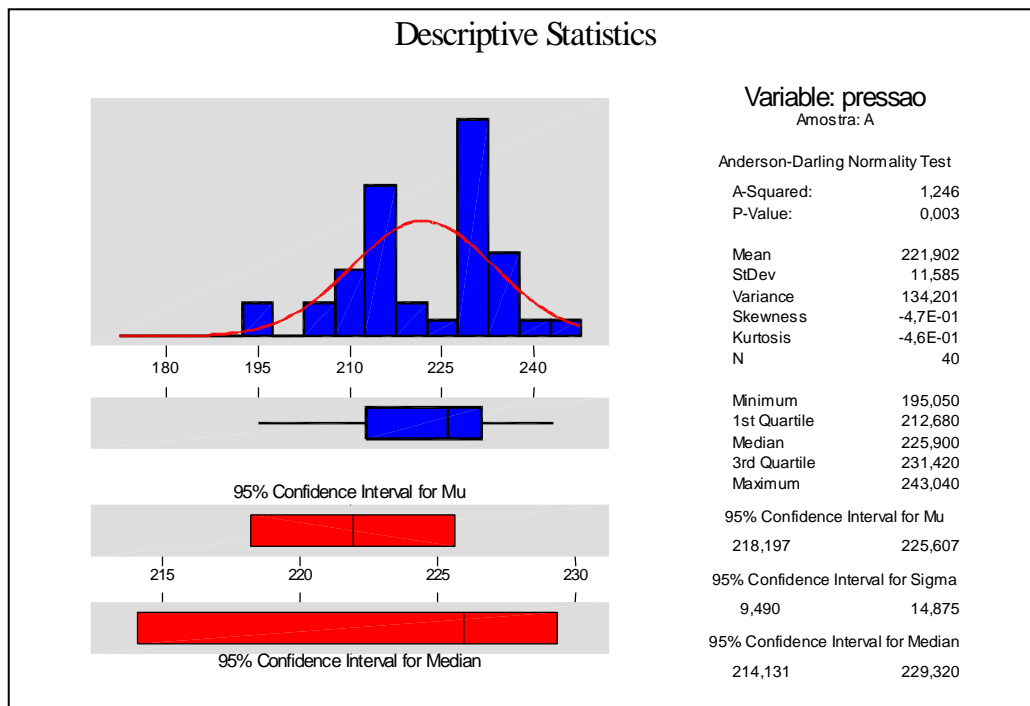
Como ilustração, foram realizados dois estudos de caso, considerando-se dois conjuntos de corpos-de-prova cada qual com uma gramatura específica, 90 g/m² e 75 g/m².

3 Resultados

3.1 Estudo de caso 1: gramatura 90g/m²

O Quadro 1 apresenta as medidas descritivas obtidas com base nos resultados das 40 medições das pressões registradas.

Quadro 1 - Medidas descritivas da resistência ao arrebentamento (kPa) para o Caso 1



Observa-se a presença de grande variabilidade nas medidas associadas ao conjunto de corpos-de-prova com gramaturas de 90g/m². A estimativa da resistência ao arrebentamento de papel é de 221,902, com incerteza padrão de 12,404 kPa. A incerteza expandida, considerando-se um coeficiente de 95% de confiança e um fator de expansão k=2,

é de 24,809 kPa e corresponde a aproximadamente 11% da estimativa da resistência ao arrebentamento. Observa-se, na Tabela 1, que a fonte de variação com maior percentual de participação no valor da incerteza é a própria heterogeneidade do papel (87%), seguida pela variação devido a repetitividade e calibração do equipamento (10%).

Tabela 1 - Planilha para cálculo de incerteza - Caso 1

Fontes de Variação	Estimativa	Distr (GL)	u(x)	Coef. Sens	u ² (x)	%
Média	221,902	normal (39)	1,855	1	3,441	2,24%
Correção da Medição	0	normal (4)	0,910	1	0,828	0,54%
Repet. + Calibração	0	normal (30)	3,924	1	15,398	10,01%
Papel	0	normal (39)	11,585	1	134,201	87,22%
Total	221,902	50,35457			153,8673	100,00%

3.1 Estudo de caso 2: gramatura 75g/m²

Comportamento similar ao obtido anteriormente foi encontrado quando se avaliou o grupo de corpos-de-prova com gramatura igual a 75 g/m² (Quadro 2?). As mesmas fontes de incerteza que mostraram maior percentual? A Tabela 2 mostra a planilha contendo os

resultados para o cálculo de incerteza nesse segundo estudo de caso.

A resistência média ao arrebentamento para este estudo foi de 201,85 kPa com incerteza padrão associada de 11,507 kPa. Considerando um fator de expansão k=2, a incerteza expandida é de 22,553 kPa, correspondendo a aproximadamente 11% do valor médio.

Quadro 2 - Medidas descritivas da resistência ao arrebentamento (kPa) para o Caso 2

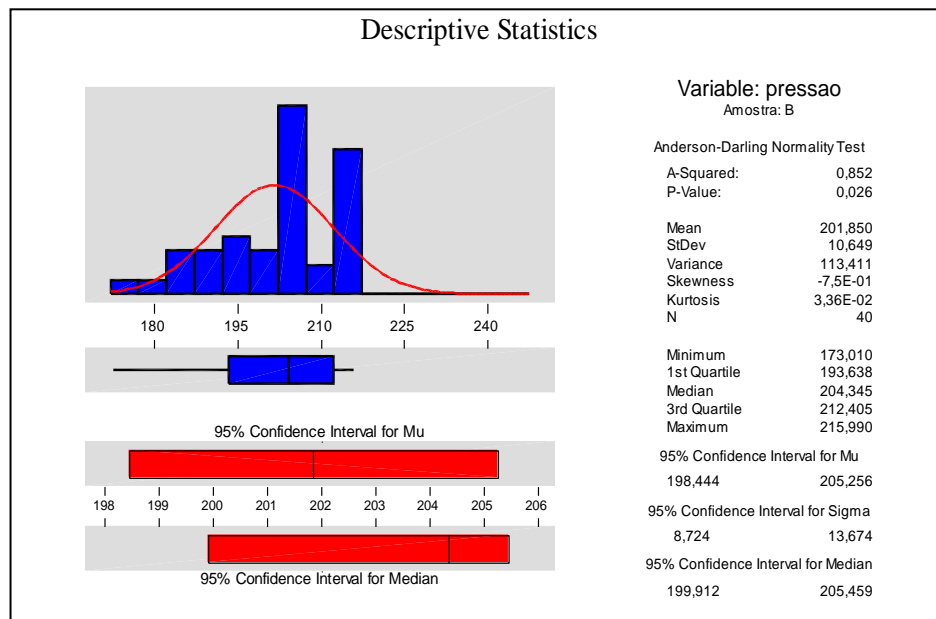


Tabela 2 - Planilha para cálculo de incerteza - Caso 2

Fontes de Variação	Estimativa	Distr (GL)	u(x)	Coef. Sens	u² (x)	%
Média	201,850	normal (39)	1,705	1	2,908	1,89%
Cor.		normal				
Medição	0	(4)	0,828	1	0,685	0,45%
Repet. +		normal				
Calibração	0	(30)	3,924	1	15,398	10,01%
		normal				
Papel	0	(39)	10,649	1	113,411	73,71%
Total	201,850	51,859			132,401	86,05%

4 Considerações Finais

O cálculo de incerteza em ensaios destrutivos segue o mesmo procedimento dos cálculos para ensaios não-destrutivos. A única dificuldade está em isolar a fonte de variação oriunda do aparelho, calculada normalmente por meio de medidas sucessivas em um mesmo corpo-de-prova.

Em ambas situações avaliadas, a maior proporção da incerteza é explicada pela

variação do próprio papel. Essa grande variação encontrada já era esperada, uma vez que a formação da folha ao longo de uma bobina de papel é heterogênea.

Uma forma para diminuir a incerteza seria a de trabalhar com materiais mais homogêneos o que requer modificações no processo de fabricação, fato este complexo e nem sempre possível.