



A VARIAÇÃO DA MASSA E DA VELOCIDADE PARA O CÁLCULO DA ENERGIA CINÉTICA DA CENTRÍFUGA DE ROUPAS

Jason Cleomar Machado Junior

Fernanda Christina Teotonio Dias Troysi

Pedro Américo Almeida Magalhães

Jason.cleomar@gmail.com

fernandadias.eng@outlook.com

paamj@oi.com.br

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Av. Dom José Gaspar 500, Coração Eucarístico, Belo Horizonte, MG, Brasil, CEP 30535-901

Resumo. A centrífuga de roupas, é um eletrodoméstico regulamentado pela norma internacional de segurança elétrica, a IEC 60335-2-4:2008. A norma possui um item questionável, que considera a Energia Cinética do produto para sua aceitação. Nesse cálculo, as variações que ocorrem com a massa e com a velocidade não são consideradas. Este artigo tem por objetivo apresentar uma metodologia, com uma equação matemática, que represente a realidade dessa análise e demonstrar como os softwares computacionais matemáticos tem auxiliado nesse quesito.

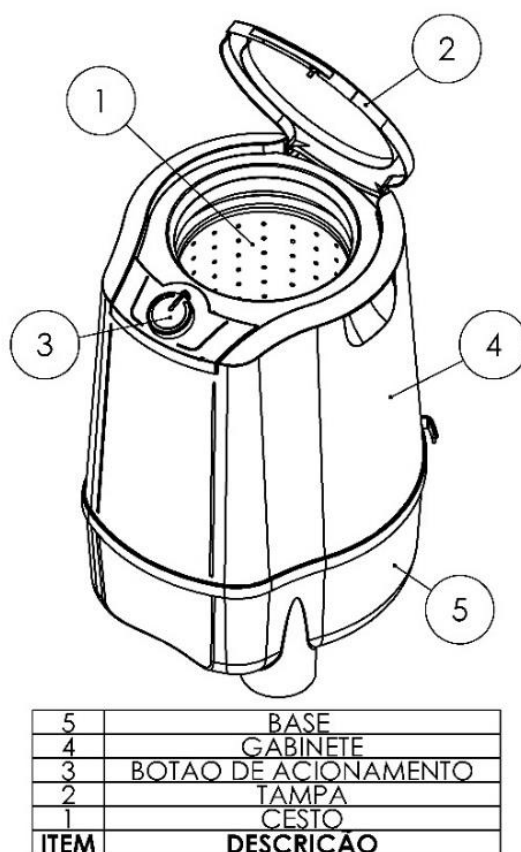
Palavras-chave: Centrífuga de Roupas, Energia Cinética, Variação da massa, Variação da velocidade

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o Inmetro tem intensificado sua preocupação quanto à segurança dos produtos introduzidos no mercado pelas indústrias e em 29 de dezembro de 2009 ele publicou a portaria 371 que tornava compulsória a certificação dos eletrodomésticos brasileiros. Dentre os requisitos dessa certificação, os eletrodomésticos devem atender a uma norma internacional de segurança elétrica, a IEC 60335-1:2006 (Household and similar electrical appliances – Safety – Part 1: General requirements) que estabelece parâmetros de segurança para todos os eletrodomésticos. Além dessa norma, cada eletrodoméstico deve atender aos requisitos de sua norma específica, que no caso desse artigo é a norma IEC60335-2-4:2008 (*Household and similar electrical appliances – Safety – Part 2-4: Particular requirements for spin extractors*) que estabelece parâmetros de segurança para centrífugas de roupas.

Essa norma possui um item (item 20) que fala da estabilidade do produto e nele impõe condições relacionadas a energia cinética gerada pelo produto. Porém, nesse cálculo não são previstas as variações da massa e da velocidade que ocorrem durante a centrifugação da roupa. Assim, podem ocorrer falhas nesse critério em que centrífugas, teoricamente aprovadas, estão sendo reprovadas e vice-versa. Centrífuga representada na figura 1.

Figura 1 – Centrífuga de Roupas



Fonte: Imagem gerada pelos autores

1 ESTABILIDADE E RISCOS MECÂNICOS

1.1 Riscos mecânicos

Neste item, a norma estabelece duas condições:

Caso 01) Impõe a condição de não permitir, em hipótese alguma, a abertura da tampa da centrífuga enquanto a mesma não estiver totalmente parada, ou seja, enquanto o freio da centrífuga não parar por completo o cesto, a tampa da centrífuga não poderá ser aberta. Esse item se destina apenas a centrífugas nas seguintes condições:

- Centrífugas cuja energia cinética seja superior a 1500 J ou;
- Centrífugas cuja velocidade tangencial do cesto ultrapasse a 20 m/s.

A descrição desse item na norma pode ser vista na figura 2.

Figura 2 – Centrífugas com alta energia cinética

20.103 For appliances having a drum with a rotational kinetic energy exceeding 1 500 J, or
– for appliances having a single lid, a maximum peripheral speed exceeding 20 m/s,
– for appliances incorporating two lids, a maximum peripheral speed exceeding 25 m/s,
it shall not be possible to open the lid while the drum is in motion.
Compliance is checked by inspection, by measurement of the maximum peripheral speed, by calculation of the rotational kinetic energy and by the following test.

Fonte: Norma IEC 60335-2-4:2008

Caso 02) Aparelhos cuja energia cinética e velocidade tangencial do cesto não excedam aos valores mencionados na figura 2, a norma permite a abertura da tampa desde que o cesto pare de girar em até 7 segundos conforme demonstrado na figura 3.

Figura 3 – Centrífugas com baixa energia cinética

20.104 For appliances having a drum with a rotational kinetic energy not exceeding 1 500 J and
– for a appliances having a single lid, a maximum peripheral speed not exceeding 20 m/s,
– for appliances incorporating two lids, a maximum peripheral speed not exceeding 25 m/s,
moving parts shall not be accessible while the motor is energized or when the drum speed exceeds 60 r/min.
– with an opening greater than 12 mm, the motor shall be disconnected from the supply and within 7 s, the drum speed shall not exceed 60 r/min.

Fonte: Norma IEC 60335-2-4:2008

É importante notar que a determinação entre o Caso 01 e o Caso 02 implica diretamente na construção do produto, podendo deixá-lo mais simples e com custo menor (Caso 01) ou mais complexo e com custo mais elevado (Caso 02), pois mais componentes e peças para o travamento da tampa seriam necessários. Assim, foi estabelecido os limites dos valores descritos no item 20.103 da norma apresentada para uma construção ainda dentro dos parâmetros do Caso 01.

1.2 Cálculo da Energia Cinética (K)

Seja um corpo de massa m movendo-se sob a ação de uma força resultante constante de módulo F . Suponha que este corpo teve uma variação de velocidade de v_0 para v em um deslocamento $\Delta S = d$. Na equação de Torricelli:

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta S \quad v^2 = v_0^2 + 2ad$$

$$a = \frac{v^2 - v_0^2}{2d}$$

Multiplicando ambos os lados pela massa m , tem-se:

$$ma = m \frac{v^2 - v_0^2}{2d}$$

Como $F=ma$, tem-se,

$$F = m \frac{v^2 - v_0^2}{2d} \quad Fd = m \frac{v^2 - v_0^2}{2}$$

Fd é o trabalho realizado (W), assim:

$$W = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$$

$$W = \Delta K$$

Ou seja, a variação da energia cinética do corpo é o trabalho realizado pela força resultante F .

$$\Delta K = W = \int \mathbf{F} \cdot d\mathbf{s}$$

Como o deslocamento em instante infinitesimal de tempo é $d\mathbf{s} = \mathbf{v}dt$, e supondo que o corpo em questão partiu do repouso, ou seja, velocidade inicial nula, obtemos então :

$$\Delta K = \int_0^v \mathbf{F} \cdot d\mathbf{s} = \int_0^v \mathbf{F} \cdot \mathbf{v}dt = \int_0^v m \frac{d\mathbf{v}}{dt} \cdot \mathbf{v}dt$$

Quando dizemos que a velocidade inicial é nula, dizemos então que:

$$\Delta K = K - 0 = K$$

Cancelando dt na expressão acima, podemos escrever (para uma massa constante):

$$K = \int_0^v m d\mathbf{v} \cdot \mathbf{v} = \frac{1}{2} m \mathbf{v} \cdot \mathbf{v} = \frac{mv^2}{2} \quad K = \frac{mv^2}{2}$$

Note que para esse desenvolvimento, em que dele a norma se utiliza, as variações da massa e da velocidade não são consideradas.

Foi feito então, uma análise de como seria o resultado de uma centrífuga com capacidade de 9 kg e velocidade de centrifugação de 20 m/s. Assim, para termos uma centrífuga dentro dos parâmetros do Caso 01 do item 20.103.

$$* m=9 \text{ kg}$$

$$* v=20 \text{ m/s}$$

$$K = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

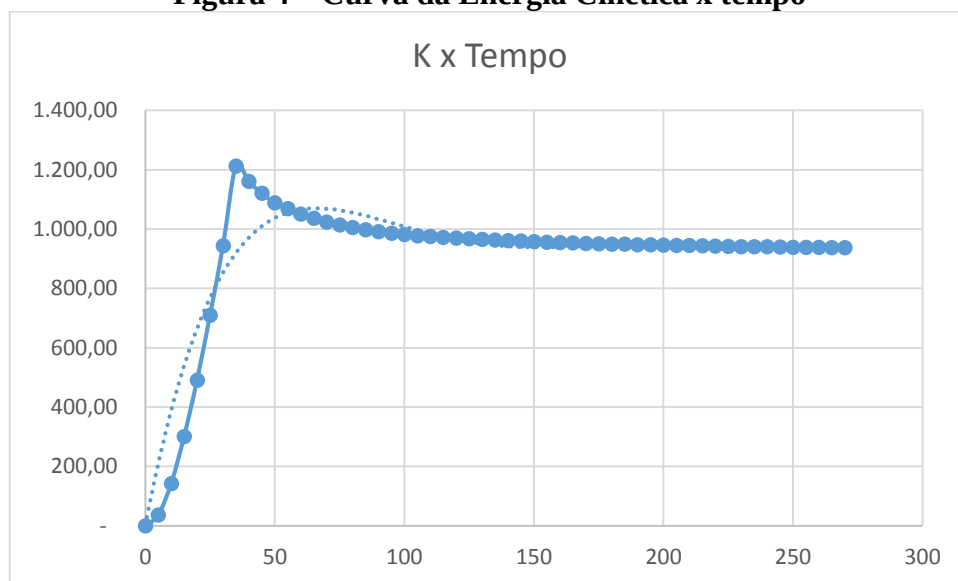
$$K = 1800 \text{ J}$$

Ou seja, esse produto estaria enquadrado no Caso 02 que requer mais complexidade no projeto.

2 METODOLOGIA

Se para o cálculo da Energia Cinética, as variações da massa e da velocidade fossem consideradas, teríamos um produto aprovado com maior capacidade, o que seria de grande valor para as indústrias de eletrodomésticos. A proposta do cálculo seria fazer medições da massa e da velocidade a cada instante de cinco segundos durante um período de quatro minutos e, a após isso, fazer um gráfico com a linha de tendência, esboçando a equação que mais se aproxima da curva encontrada. O resultado dessa análise pode ser visto no gráfico da figura 5.

Figura 4 – Curva da Energia Cinética x tempo



Fonte: Imagem gerada pelos autores

A equação que melhor esboça a linha de tendência da curva encontrada foi representada abaixo:

$$K = 2E-08t^5 - 1E-05t^4 + 0,0047t^3 - 0,6914t^2 + 45,346t$$

2.1 Análise dos dados

Pode ser observado que a Energia Cinética sobe rapidamente até os 35 segundos pois nesse período o cesto está em aceleração. Essa elevação do K só não é mais acentuada porque nesse mesmo período também ocorre a perda de massa.

Nota-se também que após 35 segundos de centrifugação, a velocidade do cesto se torna constante, entretendo a perda de massa continua ocorrendo, o que ocasionou a queda da Energia Cinética.

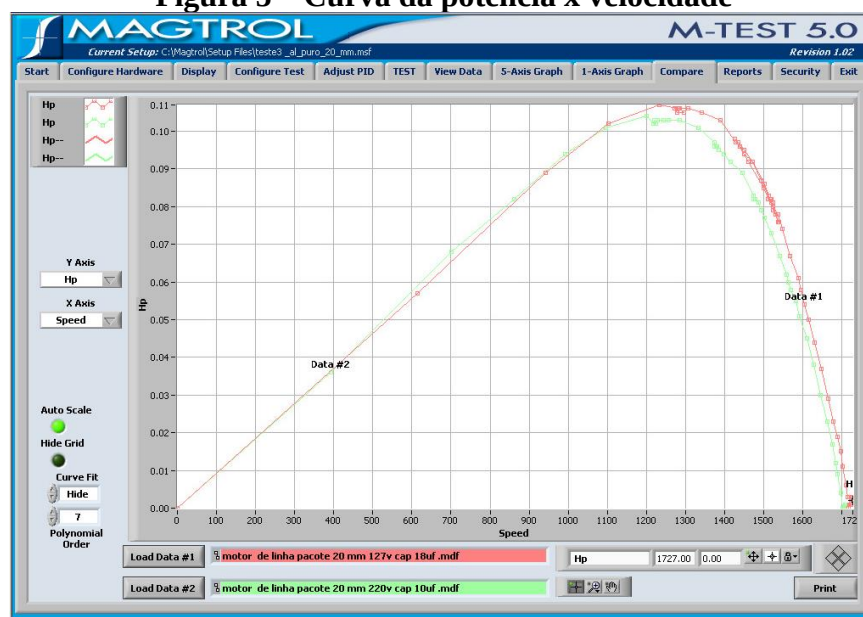
A centrífuga apresentou Energia Cinética máxima próximo a 1200 J, o que a colocaria no Caso 2, sendo que pela metodologia determinada pela norma esse valor estava em 1800 J, ou seja, Caso 1.

2.2 Análise computacional

Fazendo uma análise computacional da curva do motor (Potência x Velocidade) apresentado na figura 5, observa-se que o mesmo inicia com potência nula e sobe até aproximadamente 0,11 Hp, quando a velocidade está próxima a 1250 rpm. Após isso, a potência decresce até chegar a zero, o que ocorre na velocidade máxima aproximadamente 1700rpm.

Ou seja, em momento algum evidencia-se um vetor totalmente constante ao longo do ciclo, seja a potência, ou a velocidade. Assim, analisando a curva desse gráfico, é possível certificar de que o efeito apresentado pela energia cinética (proposto no gráfico da figura 4) está coerente com a realidade que ocorre no fenômeno da centrifugação, onde ocorre variação da energia cinética. Se essa variação não ocorresse, conforme o que a norma nos propõe, o motor também apresentaria uma curva com a potência constante ao longo da velocidade.

Figura 5 – Curva da potência x velocidade



Fonte: Imagem gerada pelos autores

3 CONCLUSÃO

Pode-se concluir que a norma atual utilizada para avaliação de centrífugas, as reprovam indevidamente. As mesmas poderiam ser comercializadas sem nenhum risco ao consumidor.

Também se observa o quanto os softwares computacionais matemáticos auxiliam no desenvolvimento de problemas como o apresentado nesse artigo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

INTERNATIONAL STANDARD. **IEC 60335-2-4:2008**: Household and similar electrical appliances – Safety – Part 2-4: Particular requirements for spin extractors. Edition 6.0 2008-09.

NORMA BRASILEIRA. **ABNT NBR NM 60335-1**: Segurança de aparelhos eletrodomésticos e similares – Parte 1: Requisitos Gerais. (IEC 60335-1:1991 - 3ª Edição, MOD)