

NORMATIZAÇÃO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO ESCORREGAMENTO PARA ROCHAS ORNAMENTAIS: ANÁLISE PELO MÉTODO DO PÊNDULO BRITÂNICO

Letícia Valdo

Aluna de Graduação em Engenharia de Minas 10º período, IFES
Período PIBIC/CETEM: agosto de 2014 a julho de 2015,
lvaldo@cetem.gov.br

Carlos César Peiter

Orientador, Eng. Metalúrgico, D.Sc.
cpeiter@cetem.gov.br

Nuria Fernández Castro

Co-orientadora, Eng^a. de Minas, M.Sc.
ncastro@cetem.gov.br

Abstract

One of the most important properties for the use of stone materials as floorings is the dynamic friction coefficient, since this property is related to safety issues regarding the mobility. The Brazilian sector of dimension stones does not consider, within stones technical standards, a test to determine such coefficient. The aim of this study was to propose the standardization of an essay, by means of the British pendulum method, adapting the European Standard EN 14.231:2003, within the scope of the FINEP/ABNTROCHAS project. The tests executed by measuring the coefficient, as a result of 16 measurements, in 15 specimens each, of 13 types of commercial stones, as determined by statistical analysis of previous results, provided enough data to evaluate the uncertainties associated to the measurements performed. The results showed that this method has good reliability, but further studies are still needed in order to propose its standardization.

Palavras chave: Resistance, slip, regulation.

Resumo

Uma das propriedades mais importantes para a utilização de materiais rochosos como revestimento de pisos é o coeficiente de atrito dinâmico, já que essa propriedade está relacionada a questões de segurança quanto à locomoção. O setor brasileiro de rochas ornamentais não considera, no conteúdo de suas normas técnicas, um ensaio normatizado para determinação de tal coeficiente. O objetivo desse trabalho foi propor a normatização de um ensaio pelo método do Pêndulo Britânico adaptando-o da norma europeia EN 14.231:2003, no âmbito do projeto FINEP/ABNTROCHAS. Foram selecionados 13 tipos de materiais comerciais e para cada um deles, foi executado o teste em 15 corpos de prova, fazendo-se 16 medições em cada um desses, o que foi determinado por análise estatística de dados obtidos anteriormente. Foi realizada uma análise estatística dos dados obtidos e avaliação das incertezas das medições. Os resultados deste trabalho mostraram que esse método apresenta boa confiabilidade, precisando ainda de mais estudos e ajustes para ser proposta sua normatização.

Palavras chave: Resistência, escorregamento, normatização.

1. INTRODUÇÃO

O setor de rochas ornamentais brasileiro destaca-se por seu volume de produção, de mais de 10 milhões de toneladas anuais, e a considerável variedade de produtos. Para tantas variedades concorrendo mercados nacional e internacional, a necessidade de caracterização tecnológica desses produtos é de fundamental importância, principalmente para aqueles utilizados como revestimento de pisos e fachadas. Uma das propriedades mais importantes para a utilização desses revestimentos como piso é o coeficiente de atrito dinâmico, já que essa propriedade está relacionada a questões de segurança quanto à locomoção. Para Powers e colegas (2007) os custos financeiros associados com quedas deverão exceder 85 bilhões de dólares americanos até o ano de 2020, quando se estima que mais de 17 milhões de quedas que resultam em ferimentos irão ocorrer nos Estados Unidos.

No setor cerâmico, um dos requisitos de conformidade de pisos, sobretudo em ambientes públicos e industriais, é sua segurança ao escorregamento, para evitar acidentes com seus usuários (UENO, 1999). No Brasil, para caracterizar a resistência ao escorregamento de superfícies de pisos cerâmicos a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT recomenda o método de determinação do coeficiente de atrito pelo sistema *Tortus* (ABNT 13.818/1997 - Placas cerâmicas para revestimento - Especificação e métodos de ensaios).

O setor brasileiro de rochas ornamentais, entretanto, não considera tal requisito no conteúdo de suas normas técnicas. Por esse motivo, a norma da ABNT 15.575/2013 - "Desempenho de edificações habitacionais", que dita exigências relativas à segurança, - apenas orienta à utilização de sistemas que melhorem ou contribuam para aumentar o coeficiente de atrito, quando se trata de pisos de rochas ornamentais polidas. Já o Comitê Europeu de Normalização - CEN e a Sociedade Americana de Testes e Materiais - ASTM possuem normas específicas para determinação do coeficiente de atrito, por diversos métodos, sendo um deles o método do Pêndulo Britânico, (EN 14231/2003 e ASTM E 303/1993).

No âmbito do projeto ABNT-ROCHAS: "Apoio à normalização e avaliação da conformidade das rochas ornamentais", financiado pela FINEP, que tem como uma de suas metas a elaboração de normas de ensaio de caracterização de produtos de rochas ornamentais, Valdo e outros (2013, 2014) vêm estudando diferentes métodos de determinação do coeficiente de atrito dinâmico para aplicação nesses materiais. Um dos métodos utilizados pelos autores foi o do Pêndulo Britânico. Os autores observaram que sua utilização é simples e que já é um método utilizado, no Brasil, em pavimento asfáltico, por exigência da norma DNIT 112/2009-ES.

O equipamento conhecido como Pêndulo Britânico é o *Portable Skid Resistance Tester*, projetado originalmente na década de 1940, por Percy Sigler, para medir a resistência ao deslizamento de andares em prédios do governo. O departamento de saúde e segurança do Reino Unido (HSE, 1999) afirma que o teste do pêndulo é o método preferido por eles e pelos Grupos de Resistência ao Escorregamento (UKSRG) e de Rugosidade Superficial (UKSRG) do Reino Unido, pois oferece uma boa reprodução da dinâmica do real deslizamento de pessoas sobre superfícies, tendo demonstrado, ao longo de muitos anos, uma boa correlação entre os resultados do instrumento e incidentes reais de deslizamentos de pessoas. Além disso, outras razões para a grande utilização deste equipamento são relacionadas às questões de praticidade do dispositivo, uma vez que ele é portátil e pelo fato de que o Pêndulo está em conformidade com 26 normas para a determinação do coeficiente de atrito em diversas superfícies.

2. OBJETIVOS

Propor a normatização do ensaio de resistência ao escorregamento pelo método do Pêndulo Britânico a partir de adaptações, a serem sugeridas, no conteúdo da norma europeia EN 14.231/2003 mediante aquisição e análise de um significativo volume de dados.

3. METODOLOGIA

Foram selecionados 13 tipos de rochas atualmente comercializadas para uso como revestimento de pisos e fachadas no Brasil e no exterior: os granitos comerciais Alaska, Arabesco, Blue Fire,

Crazy Horse, Fiorito, Ocre, Preto Escovado, Suprime, Tiger, Volcano e Volcano Escovado, o Mármore Branco e o esteatito comercializado como Soapstone Black.

O planejamento dos ensaios foi realizado com base em uma análise estatística dos resultados obtidos por Valdo e outros (2014). Os resultados dos autores evidenciaram uma curva normal e com isso foi utilizada, como base, a distribuição normal de frequência. Foi considerado um intervalo de 99% de confiança e o índice "z" de 2,575 para a determinação do número de medições a serem realizadas em cada corpo de prova e também o número de corpos de prova necessário. Assim, para cada tipo de rocha foram definidos 15 corpos de prova e em cada um foram realizadas 16 medições, dando um total de 3.120 medições. Foram definidas duas direções de medição em cada corpo de prova, sendo efetuadas 8 medições na direção 1 e, após girar o corpo de prova 180°, realizaram-se mais 8 medições na direção 2.

Nos corpos de prova foi realizado o ensaio de resistência ao escorregamento pelo método do Pêndulo Britânico utilizando o dispositivo medidor *Portable Skid Resistance Tester* (marca Munro), sendo o ensaio realizado na situação seca e com o dispositivo equipado com a borracha normalizada TRRL (5S). O procedimento de ensaio, ilustrado pela Figura 1 (etapas de 1 a 3), consistiu em posicionar o corpo de prova, medir e registrar a temperatura de ensaio e determinar o comprimento de deslizamento da borracha sobre o corpo de prova. As medições começam quando o braço do pêndulo é liberado a partir de uma posição horizontal (etapa 1), o braço pendular atinge a superfície do corpo de prova com uma velocidade constante (etapa 2). A distância percorrida pelo pêndulo depois de colidir no corpo de prova, é determinada pela resistência de atrito na superfície do corpo de prova. Os valores do coeficiente de resistência ao escorregamento são lidos diretamente a partir da escala graduada (x 100) (etapa 3).

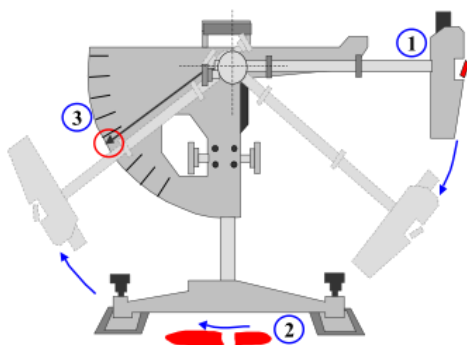


Figura 1: Etapas de ensaio do *Portable Skid Resistance Tester* (Pêndulo Britânico).

Com os resultados, foram calculadas as médias, os desvios padrão, as incertezas padrão correspondentes às medições, as incertezas padrão associadas à calibração do dispositivo, e as incertezas combinadas e expandidas. A análise de incertezas aqui conduzida está em conformidade com o Guia para a expressão da Incerteza de medição - GUM 2008 (INMETRO, 2012).

Cada fonte de incerteza pode ser avaliada ou por procedimentos estatísticos, normalmente através do desvio padrão, ou por procedimentos não estatísticos, baseados em observações analíticas, teóricas ou em informações preexistentes. Os procedimentos estatísticos são denominados pelo guia como procedimentos "tipo A", enquanto que os não estatísticos, "tipo B". Procurou-se classificar o método de avaliação de cada uma das fontes de incerteza como "tipo A" ou "tipo B". Para a incerteza "tipo A", a incerteza padrão foi estimada a partir de repetidas medições através do desvio padrão experimental. A incerteza "tipo B" foi estimada a partir de informações disponíveis no certificado de calibração do equipamento. Finalmente, as duas incertezas foram combinadas para se calcular a incerteza expandida aplicando um fator de abrangência $k=2,97$ para um nível de 99% de confiança e um grau de liberdade igual a $15-1=14$.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante dos dados obtidos do ensaio pelo método do Pêndulo, mostrados na Tabela 1, observa-se que as incertezas "Tipo A", que são relacionadas às fontes de incertezas de repetidas medições,

do operador do equipamento e do próprio material, apresentaram uma homogeneidade nos resultados para os diferentes tipos de materiais e nota-se, ainda, que os valores das incertezas "Tipo A" são demasiadamente pequenos quando comparados com os valores de suas respectivas médias. Nota-se também que a incerteza expandida para todos os materiais apresentou valores baixos e homogêneos. Isso implica que o procedimento de ensaio pelo método do Pêndulo Britânico é bastante confiável.

Tabela 1: Resultados do ensaio pelo método do Pêndulo Britânico expressos em valores do coeficiente de atrito x 100 (adimensional).

| Nome Comercial | Média | Desvio Padrão | Incerteza "Tipo A" | Incerteza Combinada | Incerteza Expandida $k = 2,97$ | Limite Inferior | Limite Superior |
|------------------|-------|---------------|--------------------|---------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|
| Alaska | 48,97 | 3,22 | 0,02 | 0,03 | 0,08 | 48,83 | 49,10 |
| Arabesco | 59,29 | 5,56 | 0,02 | 0,03 | 0,09 | 59,16 | 59,42 |
| Blue Fire | 61,33 | 6,06 | 0,03 | 0,03 | 0,09 | 61,21 | 61,46 |
| Crazy Horse | 45,23 | 4,02 | 0,02 | 0,03 | 0,10 | 45,07 | 45,38 |
| Fiorito | 62,59 | 3,69 | 0,02 | 0,02 | 0,07 | 62,48 | 62,70 |
| Mármore | 52,73 | 5,08 | 0,02 | 0,03 | 0,10 | 52,59 | 52,87 |
| Ocre | 72,09 | 13,65 | 0,05 | 0,05 | 0,15 | 71,92 | 72,26 |
| Preto Escovado | 54,71 | 3,99 | 0,02 | 0,02 | 0,06 | 54,60 | 54,83 |
| Soapstone Black | 57,38 | 2,29 | 0,01 | 0,02 | 0,06 | 57,27 | 57,49 |
| Suprime | 43,25 | 4,28 | 0,03 | 0,04 | 0,11 | 43,09 | 43,42 |
| Tiger | 50,75 | 6,35 | 0,03 | 0,04 | 0,11 | 50,60 | 50,91 |
| Volcano | 54,98 | 4,87 | 0,02 | 0,03 | 0,09 | 54,85 | 55,11 |
| Volcano Escovado | 55,77 | 5,34 | 0,02 | 0,03 | 0,09 | 55,63 | 55,90 |

Ao se comparar a incerteza combinada com a incerteza do "Tipo A" em cada material, pode-se perceber que os valores são próximos, como mostra a figura 2. Tal comprovação implica que a incerteza associada às medições ("Tipo A") tem maior influência que a incerteza associada ao equipamento de ensaio ("Tipo B"). Isso pode ser explicado pela variabilidade natural dos materiais ensaiados, o que é corroborado pelos desvios padrão dos resultados.

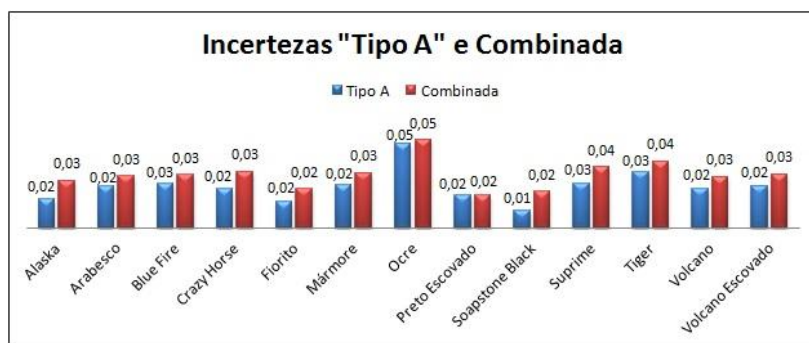


Figura 2: Incertezas "Tipo A" e incertezas combinadas de cada material.

Diante da observação de que a incerteza devida ao equipamento influencia pouco no resultado da incerteza combinada do experimento, podemos afirmar que os ensaios realizados por esse tipo de dispositivo garantem uma boa confiabilidade em seus resultados e que esse método merece ser mais estudado para que se torne um ensaio normatizado no Brasil. Com intuito de tornar o ensaio mais expedito, pode-se considerar um intervalo de confiança menor do que utilizado para a determinação de números de medições e corpos de prova necessários, pois, normalmente, um intervalo de 95% é suficiente. Nesse caso, bastariam oito corpos de prova e a execução de 10 medições em cada um deles, com base nos dados aqui utilizados. Essa redução implicará em menor tempo de ensaio e diminuirá os custos associados aos corpos de prova.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos revelaram uma homogeneidade nas incertezas relacionadas às medições, as quais apresentaram um valor baixo em comparação às médias. As incertezas expandidas também apresentaram valores baixos e homogêneos, revelando ser um método bastante confiável, o que justifica sua ampla utilização por diversas entidades internacionais. A incerteza associada ao equipamento influencia pouco nos procedimentos de ensaio garantindo uma boa confiabilidade dos resultados por meio do Pêndulo Britânico. Considerando a falta de um ensaio normatizado de determinação do coeficiente de atrito no setor de rochas ornamentais, todas as constatações contribuem para reforçar que este método tem um grande potencial e que possui reais condições de ser incorporado ao conjunto de normas técnicas brasileiras para caracterização de rochas ornamentais com vistas a garantir a segurança além de aumentar a competitividade internacional de seus produtos. Sugere-se diminuir o número de medições e o número de corpos de prova a serem ensaiados, considerando um intervalo de 95% de confiança, e calcular as incertezas associadas às medições e a incerteza expandida do método para uma comparação dessas incertezas entre os níveis de confiança analisados.

6 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa concedida. Ao CETEM/NRES, aos meus orientadores, Carlos Peiter e Nuria Castro, aos técnicos, Jefferson Camargo, Pedro P. Pizetta, Hieres V. Silva e Thiago M. Bolonini. Ao professor Carlos Eduardo Ribeiro, Lucas B. Valdo e ao Lucas B. Partelli.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 13.818/1997 - **Placas cerâmicas para revestimento - Especificação e métodos de ensaios.**

_____ - ABNT NBR ISO/IEC 15.575/2013 - **Desempenho de edificações habitacionais.**

CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION - BS EN 14.231 - **Natural stone test methods - Determination of the slip resistance by means of the pendulum tester.** 2003.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DOS TRANSPORTES – Norma DNIT 112/2009 - ES - **Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico com asfalto - borracha, via úmida, to tipo "Terminal Blending" - Especificação de serviço.** 2009.

HSE - HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE - Preventing slips in the food and drink industries: Technical update on floor specifications. Food Information Sheet FIS22 HSE Books 1999

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, **Avaliação de dados de medição: Guia para expressão de incerteza de medição** - GUM 2008, Duque de Caixias, RJ: INMETRO/CICMA/SEPIM, 2012, 141 p.

POWERS, C. et al, - Assessment of walkway tribometer readings in evaluating slip resistance: A Gait-Based approach - **J Forensic Sci**, v.52, n. 2, p. 400-405. março de 2007.

UENO, O. K. - **Avaliação metrológica de um sistema de medição do coeficiente de atrito em pisos cerâmicos** - Dissertação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

VALDO, L; PEITER, Carlos C.; SILVEIRA, Leonardo L. L, - Determinação do coeficiente de atrito dinâmico em superfícies de rochas ornamentais brasileiras submetidas a diferentes tipos de acabamento - In: **XXI Jornada de Iniciação Científica do Centro de Tecnologia Mineral** - Rio de Janeiro, RJ: CETEM/MCTI, 2013.

_____, - Determinação do coeficiente de atrito dinâmico de superfícies de rochas ornamentais brasileiras ensaiadas no *tilt test* e pêndulo britânico - In: **XXII Jornada de Iniciação Científica do Centro de Tecnologia Mineral** - Rio de Janeiro, RJ: CETEM/MCTI, 2014.