

Correlação entre rugosidade superficial, resistência ao escorregamento e análise sensorial em revestimentos cerâmicos

Aline Bartosiak Rodrigues Peruchi^{a*} , Natália da Coreggio Redivo^a, Laura Savi Rosso^a ,
Maria Laura Mezzari Mariot^a, Aline Ribeiro^a , Hilária Mendes de Souza^a , Juliana de Oliveira Menegon^a ,
Aline Demarch^a , Angela Waterkemper^a

^aMohawk Brasil, Rua Maximiliano Gaidzinski 245, Cocal do Sul, Santa Catarina, Brasil

*e-mail: alinebartosiak@hotmail.com

Resumo:

A resistência ao escorregamento de pisos cerâmicos é crucial para a segurança em ambientes onde a possibilidade de escorregamento e quedas é elevada, como banheiros, cozinhas e áreas externas. Este estudo explorou a relação entre a rugosidade superficial, os valores de resistência ao escorregamento obtidos pelo método do pêndulo britânico (BPN) e a análise sensorial realizada por meio da percepção humana. Amostras de revestimentos cerâmicos com diferentes acabamentos foram analisadas para entender como esses fatores interagem e influenciam a segurança dos pisos. Os resultados demonstraram uma forte correlação ($R^2 = 0,77$) entre os valores de rugosidade e a resistência ao escorregamento medida pelo pêndulo britânico, indicando que pisos com maior rugosidade superficial apresentam melhores resultados de segurança. Além disso, a análise sensorial mostrou maior alinhamento com os resultados obtidos pelo pêndulo do que com as medições de rugosidade, especialmente para categorias de alto e baixo potencial de escorregamento. Essas descobertas reforçam a importância de utilizar métodos combinados na avaliação da segurança dos revestimentos cerâmicos, proporcionando dados mais precisos para o desenvolvimento de pisos mais seguros e eficazes.

Palavras-chave: Resistência ao escorregamento, pêndulo britânico, análise sensorial, rugosidade superficial.

1. INTRODUÇÃO:

Uma das principais preocupações na segurança de pisos é a resistência ao escorregamento, especialmente em ambientes que exigem maior controle contra acidentes. Para atender a essa necessidade, são amplamente utilizados revestimentos antiderrapantes que desempenham um papel essencial na prevenção de escorregamentos e quedas [1].

De acordo com o Liberty Mutual Safety Index (2020), os acidentes de trabalho envolvendo quedas no mesmo nível em que a pessoa está caminhando ou se movimentando estão entre os três mais onerosos nos Estados Unidos, gerando um custo anual de US\$ 8,98 bilhões, equivalente a 15,3% dos custos totais [2]. Por isso, a resistência ao escorregamento dos pisos cerâmicos torna-se uma preocupação fundamental para os fabricantes de revestimentos cerâmicos. O coeficiente de atrito deixa de ser apenas uma característica técnica do produto e passa a representar um atributo essencial de segurança para o usuário [3]. Essa segurança vai depender da resistência ao escorregamento das

solas do calçado que interage com a superfície do piso, pois elas são confeccionadas a partir de diversos materiais viscoelásticos, como borracha, borracha natural, plásticos e couro, frequentemente apresentando uma estrutura de relevo variada [4].

A influência da rugosidade da superfície no atrito entre duas superfícies, assim como o coeficiente de atrito, ainda é objeto de estudo. Para medir o coeficiente de atrito, podem ser utilizados diversos dispositivos, que avaliam parâmetros como tração, torque, perda de energia ou o ângulo de inclinação [5]. Já a medição da rugosidade é realizada por meio de rugosímetros de perfil de contato mecânico. Esses instrumentos detectam as irregularidades de uma superfície utilizando uma agulha de ponta fina que desliza sobre ela [6], evidenciando as saliências e reentrâncias presentes [7]. Estudos indicam que a presença de uma grande quantidade de picos (saliências) elevados e pontiagudos na superfície contribui significativamente para aumentar a resistência ao escorregamento [8]. A Fig.1 mostra a agulha de um rugosímetro em contato com a superfície cerâmica medindo sua rugosidade.



Figura 1. Medição de rugosidade em superfície cerâmica [9]

Segundo o UK Slip Resistance Group (2016) [10], as medições de rugosidade podem ser uma ferramenta útil para identificar rapidamente áreas com possíveis variações na resistência ao escorregamento em condições de umidade. A Tab.1 mostra a classificação estabelecida pelo Guia de Resistência ao Escorregamento do Reino Unido utilizando o parâmetro Rz como referência.

Tabela 1. Potencial de escorregamento de acordo com a rugosidade Rz [3]

Potencial de Escorregamento	Rugosidade Rz (μm)
Alto	Menos que 10
Moderado	Entre 10 e 20
Baixo	Maior que 20

No entanto, o ensaio de rugosidade revela apenas o perfil rugoso da superfície, sem demonstrar seu real comportamento em condições mais críticas, como quando está molhada e um pé desliza sobre ela. Para essas situações, o ensaio do pêndulo apresenta uma boa correlação com incidentes

de escorregamento e queda, sendo amplamente utilizado em normas internacionais, como a EN 13036-4 (Europa), BS 7976-2 (Reino Unido) e AS 4586 (Austrália), entre outras [8].

O pêndulo foi projetado para simular a sola do sapato com o piso [8]. Possui um dispositivo que balança e varre de uma maneira controlada uma área definida de piso que simula o pé deslizando sobre a superfície. Ele é composto por quatro componentes principais: uma base, escalas, o braço do pêndulo e uma barra de borracha. É um equipamento do tipo pendular dinâmico utilizado para medir a perda de energia quando uma extremidade deslizante de borracha é impulsionada ao longo de uma superfície de teste, podendo estar úmida ou seca. Os valores obtidos refletem as propriedades de atrito da superfície avaliada. Durante o ensaio, o pêndulo é elevado até uma posição de bloqueio e, em seguida, liberado, permitindo que o deslizante faça contato com a superfície. Um ponteiro no equipamento indica o valor do BPN (British Pendulum Number), sendo que quanto maior o atrito, maior será o valor do BPN [3]. A Fig.2 apresenta o pêndulo e uma superfície de teste sendo ensaiada.



Figura 2. Pêndulo britânico [11]

A barra de borracha do pêndulo pode ser confeccionada com dois tipos de dureza, a Borracha 55 possui uma dureza de 55 IRHD e é tradicionalmente usada para testar superfícies externas e superfícies molhadas descalças, sendo mais adequada para superfícies menos lisas expostas a condições climáticas. E a Borracha 96, com uma dureza de 96 IRHD, que foi desenvolvida para substituir a Slider 55 no teste de superfícies internas mais lisas, oferecendo maior discriminação entre diferentes níveis de resistência ao escorregamento dessas superfícies. Essa diferença permite que a Slider 96 represente melhor o contato entre superfícies muito lisas, enquanto a Slider 55 é mais adequada para superfícies externas ou de maior rugosidade [12].

Os resultados do pêndulo podem ser interpretados utilizando a classificação de resistência ao escorregamento disponível na Tab.2.

Tabela 2. Classificação de resistência ao escorregamento de acordo com pêndulo britânico [13]

Potencial de Escorregamento	BPN
Alto	0 – 24
Moderado	25 – 35
Baixo	36 +

Outra abordagem para avaliar a resistência ao escorregamento dos revestimentos cerâmicos é por meio da análise sensorial humana. Isso ocorre porque os seres humanos possuem a capacidade de distinguir, de maneira confiável, a resistência ao escorregamento, uma vez que essa avaliação está diretamente relacionada ao comportamento durante a caminhada. Por esse motivo, acredita-se que essa análise seja relevante nos estudos sobre o risco de quedas [3].

Diante deste cenário, o objetivo deste estudo é, utilizando a mesma amostra, entender a correlação entre a rugosidade superficial com a resistência ao escorregamento utilizando o pêndulo britânico, além de avaliar se os resultados desses ensaios apresentam alguma relação com a análise sensorial humana.

2. MATERIAIS E MÉTODOS:

O trabalho é dividido em cinco etapas principais, conforme o fluxograma mostrado na Fig.3, que ilustra as atividades desenvolvidas.

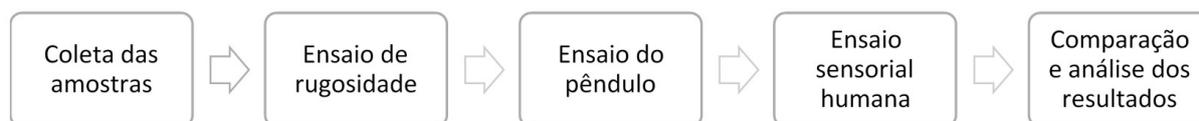


Figura 3. Fluxograma das etapas do desenvolvimento do trabalho

2.1. Coleta das amostras:

As amostras utilizadas foram obtidas da produção de uma empresa de revestimento cerâmico. Para os ensaios de pêndulo e rugosidade, as coletas ocorreram ao longo de aproximadamente onze meses, abrangendo um total de 1.728 produtos. Para a análise sensorial humana, as coletas foram realizadas durante cerca de dois meses, totalizando 140 produtos.

Todas as coletas incluíram amostras com os seguintes acabamentos: natural, acetinado, polido, brilhante e resistente ao escorregamento.

2.2. Ensaio de rugosidade:

O equipamento utilizado para realizar as medições de todas as amostras foi o modelo SJ-410 da marca Mitutoyo. Antes da realização do ensaio, as superfícies das amostras eram previamente limpas com um pano umedecido em álcool para garantir a uniformidade das condições de teste.

O ensaio foi realizado em toda a superfície da amostra, com o número de medições definido pela sua área, conforme a Tab.3.

Tabela 3. Número de medições de rugosidade

Área (cm ²)	Número de medições
≤ 56,25	3
> 56,25 e ≤ 3600	4
> 3600 e ≤ 6400	6
> 6400 e ≤ 8100	9
> 8100 e ≤ 8354	12
> 8354	16

Os valores de Rz (μm) obtidos foram registrados em uma planilha, garantindo a organização dos dados para a posterior comparação e análise dos resultados.

2.3. Ensaio do pêndulo:

Para o ensaio do pêndulo, as amostras, já com a sua rugosidade medida, foram cortadas em aproximadamente 60 x 20 cm e tiveram suas superfícies borrifadas com água. Oito medições foram realizadas em cada amostra e seus valores foram anotados para posterior comparação dos ensaios. O método seguido para realizar o ensaio do pêndulo foi da norma Australiana AS 4586.

2.4. Ensaio sensorial humano:

O ensaio de análise sensorial humana consiste em posicionar o revestimento cerâmico em uma superfície horizontal com uma inclinação de 8,3%. Com os pés descalços e apoiando-se em um corrimão, é acionada a água corrente sobre a superfície enquanto a pessoa caminha sobre ela.

Um grupo de três pessoas realizou o ensaio, e os resultados foram classificados em três categorias distintas, conforme demonstrado na Tab.4.

Tabela 4. Classificação de potencial de escorregamento de acordo com análise sensorial humana

Potencial de Escorregamento	Classe
Alto	1
Moderado	2
Baixo	3

2.5. Comparação e análise dos resultados:

A relação entre os resultados dos ensaios de rugosidade, utilizando o parâmetro Rz, e o pêndulo com a borracha 96, para os 1728 produtos, foi analisada por meio de gráficos de dispersão. Esses gráficos permitem observar o coeficiente de correlação (R^2) entre as duas variáveis e determinar a equação de regressão, que descreve a relação matemática entre elas e pode ser usada para prever valores futuros com base nos dados analisados.

O valor de R^2 varia de 0 a 1, sendo que valores próximos de 1 indicam uma correlação mais forte entre as variáveis analisadas. Isso demonstra que o modelo de regressão consegue explicar uma maior proporção da variabilidade dos dados, conforme apresentado na Tab.5.

Tabela 5. Exemplo de interpretação do coeficiente de correlação [14]

Coefficiente de correlação	Interpretação
0,00 – 0,10	Correlação insignificante
0,10 – 0,39	Correlação fraca
0,40 – 0,69	Correlação moderada
0,70 – 0,89	Correlação forte
0,90 – 1,00	Correlação muito forte

O ensaio de análise sensorial humana foi realizado comparando os resultados de rugosidade Rz e resistência ao escorregamento, obtidos com o pêndulo, dos 140 produtos, com a média dos resultados fornecidos pelos técnicos responsáveis pelo ensaio sensorial. Para este o coeficiente de correlação e a equação de regressão também foram utilizados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A Fig.4 mostra a correlação entre os valores de rugosidade Rz com o valor obtido no ensaio com o pêndulo úmido, com a borracha 96, seguindo a norma AS 4586. O gráfico mostra no eixo vertical os valores de resistência ao escorregamento na condição úmida, enquanto que o eixo horizontal mostra os valores de Rz e os pontos experimentais são representados pelos pontos azuis.

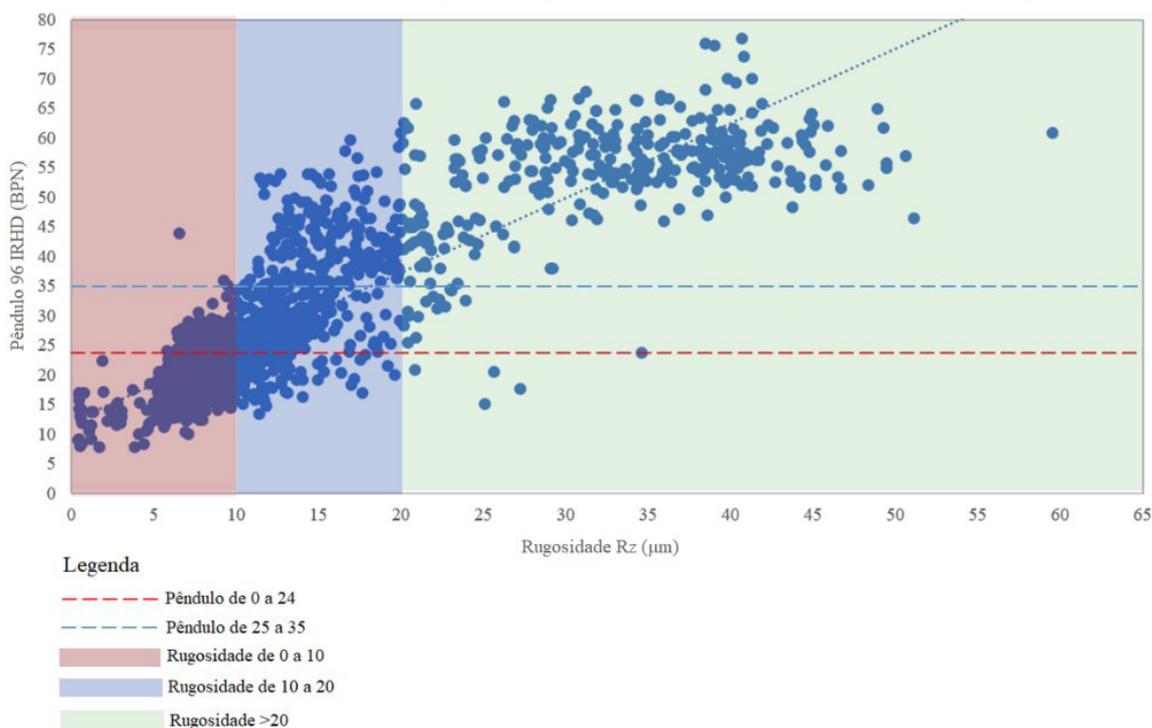


Figura 4. Relação entre Rz e pêndulo britânico

A linha pontilhada vermelha representa o limite de 24 BPN, ou seja, pontos abaixo dessa linha estão classificados com alto potencial de escorregamento. A linha pontilhada azul delimita o valor de 35 BPN, e os pontos abaixo da linha azul e acima da linha vermelha, de 25 a 35 BPN, são considerados com moderado potencial de escorregamento. Já os pontos acima da linha azul (maior que 36 BPN) apresentam baixo potencial de escorregamento.

No caso da rugosidade, toda a área vermelha (0 a 10 μm) indica elevado potencial de escorregamento. A área azul, de 10 a 20 μm , representa um médio potencial de escorregamento, enquanto a área verde, com resultados superiores a 20 μm , apresenta baixo potencial de escorregamento.

O valor de R^2 para essa relação foi de 0,77, o que indica uma correlação forte, de acordo com a Tab.5 e a equação que representa a relação entre os valores experimentais de Rz e do Pêndulo é a seguinte:

$$\text{Pêndulo} = 1,2577 \cdot \text{Rz} + 1,209$$

Observa-se que, com o aumento dos valores de Rz, os resultados do pêndulo também tendem a aumentar, indicando uma relação positiva. No entanto, alguns produtos que ficaram fora da linha de tendência contribuíram para que a correlação não fosse perfeita: 6,2% dos produtos apresentaram Rz inferior a 10 μm , indicando teoricamente alto potencial de escorregamento, mas exibiram BPN entre 25 e 35, caracterizando um moderado potencial de escorregamento; 11,8% dos produtos mostraram moderado potencial de escorregamento na rugosidade, mas baixo potencial no pêndulo; 0,23% dos produtos (apenas 4) apresentaram baixo potencial de escorregamento na rugosidade, mas elevado potencial no pêndulo; 0,86% exibiram baixo potencial de escorregamento no Rz e moderado potencial no pêndulo.

A Fig.5 exibe os resultados do ensaio de análise sensorial humana, categorizados em três classes distintas, conforme descrito na Tab.4. A classe 1, correspondente a elevado potencial de escorregamento, é representada no gráfico pelos pontos vermelhos. A classe 2, de moderado potencial de escorregamento, é indicada pelos pontos azuis. Já a classe 3, que representa baixo potencial de escorregamento, é ilustrada pelos pontos verdes. As linhas limites para rugosidade Rz e para o pêndulo seguem a mesma configuração do gráfico apresentado na Fig.3.

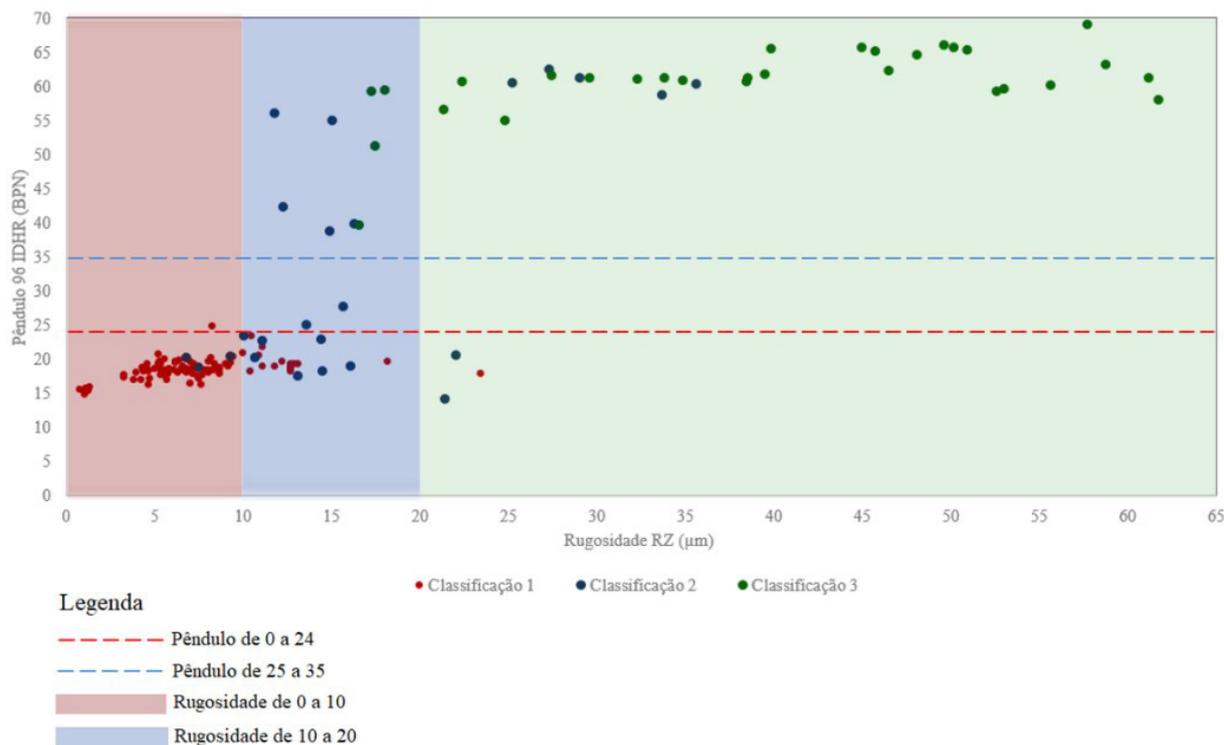


Figura 5. Classificação sensorial humana

A classificação da análise sensorial humana demonstra maior semelhança com os resultados obtidos pelo pêndulo do que com o rugosímetro. Isso é evidenciado pelo fato de que quase todos os pontos da classificação 1 (vermelhos), com exceção de apenas um, ficaram abaixo da linha pontilhada vermelha, indicando alto potencial de escorregamento no pêndulo (valores menores que 24 BPN). Na classificação 3 (verde), associada a baixo potencial de escorregamento no ensaio sensorial, todos os pontos apresentaram valores acima de 36 µm, confirmando baixo potencial de escorregamento. Já a classificação 2 (azul) mostrou-se bastante dispersa, com superfícies classificadas tanto como de baixo quanto de elevado potencial de escorregamento, evidenciando a ausência de uma definição clara para a categoria moderada no ensaio sensorial.

4. CONCLUSÃO:

Os resultados apresentados confirmam a importância de compreender a relação entre rugosidade superficial, resistência ao escorregamento e análise sensorial humana na avaliação de pisos cerâmicos. A forte correlação entre os valores de rugosidade (Rz) e os valores obtidos pelo pêndulo britânico (BPN), evidenciada pelo coeficiente de determinação ($R^2 = 0,77$), destaca que o aumento da rugosidade tende a melhorar a resistência ao escorregamento, especialmente em condições úmidas. Essa relação positiva reforça a utilidade do parâmetro Rz como indicador inicial do potencial de escorregamento.

A análise sensorial humana apresentou maior concordância com os resultados do pêndulo em comparação ao rugosímetro, particularmente nas classificações de alto e baixo potencial de escorregamento. Essa similaridade indica que a percepção sensorial dos usuários é um método relevante e complementar para avaliar o comportamento real das superfícies em situações críticas, como pisos molhados.

Apesar da eficácia geral dos ensaios realizados, foram observadas discrepâncias em alguns casos específicos, indicando que nenhum método isolado é completamente confiável para prever o comportamento do piso em todas as situações. Assim, recomenda-se a aplicação conjunta de ensaios de rugosidade, pêndulo e análise sensorial humana para uma avaliação mais completa e precisa.

Portanto, destaca-se que, para uma avaliação mais confiável e representativa da segurança ao escorregamento, o ensaio do pêndulo deve ser priorizado, especialmente em normas técnicas e processos de certificação. Sua capacidade de simular o escorregamento de uma sola sobre a superfície, considerando parâmetros como atrito dinâmico e perda de energia, oferece resultados que se alinham mais estreitamente às condições reais de uso, proporcionando maior segurança para os usuários e suporte para fabricantes no desenvolvimento de revestimentos cerâmicos mais seguros.

AGRADECIMENTOS:

Os autores agradecem ao Departamento de Garantia da Qualidade da Empresa Mohawk Brasil, bem como aos seus colaboradores, pela disponibilização dos equipamentos, colaboração e orientação.

REFERÊNCIAS:

- [1] Gupta S, Sidhu S, Chatterjee S, Malviya A, Singh G, Chanda A, 2022. Effect of floor coatings on slip-resistance of safety shoes. *Coatings* 12, 10, 1455. <http://dx.doi.org/10.3390/coatings12101455>
- [2] Liberty, 2023. Workplace safety incidents: insights and methodology. Boston: Liberty Mutual Insurance. https://business.libertymutual.com/wp-content/uploads/2023/08/WorkplaceSafetyIndex_WP.pdf
- [3] Demarch A, 2019. Análise da relação entre rugosidade superficial e resistência ao escorregamento de revestimentos cerâmicos submetidos ao desgaste. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade do Extremo Sul Catarinense.
- [4] Walús K J, Warguła Ł, Wieczorek B, Krawiec P, 2022. Slip risk analysis on the surface of floors in public utility buildings. *Journal of Building Engineering* 54, 104643. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104643>
- [5] Demarch A, Waterkemper A, Pasini D, Ruzza S, Montedo O R K, Angioletto E, 2021. Effects of roughness parameters on slip resistance for different methods used to determine the coefficient of friction for ceramic floor tiles. *Ceramics International* 47, 17, 24281-24286. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.05.139>
- [6] Carpinett L C R, Gonçalves Filho E V, Porto A J V, Jasinevicius R G, 1996. Rugosidade superficial conceitos e princípios de medição. São Carlos: EESC-USP.
- [7] Fernandes M C S, Paulin Filho P I, Morelli M R, 2011. Análise da superfície de grês porcelanato por microscopia de força atômica. *Cerâmica* 57, 57, 173-179. <https://www.scielo.br/jj/ce/a/65FLYzDYjs3dcLWpkxCVs6p/?lang=pt&format=pdf>
- [8] Lot A V, Menegazzo A P M, Brasileiro C T, Melchiades F G, Boschi A O, 2021. Correlations between the slip resistance and surface roughness of ceramic floor tiles. *Research, Society and Development* 10, 4, e4410413865. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i4.13865>
- [9] Mitutoyo, 2024. Rugosímetros. <https://www.mitutoyo.com.br/rugosímetros>
- [10] UK Slip Resistance Group, 2016. The assessment of floor slip resistance. 5th ed. UK: UK Slip Resistance Group.
- [11] Munro Instruments, 2024. British pendulum testers. <https://www.munroinstruments.com/product-category/slip-skid-resistance/british-pendulum-testers/>
- [12] AS 4586, 2013. Slip resistance classification of new pedestrian surface materials. Sydney: Australian Standard.
- [13] HSA, 2025. Measuring slip resistance. Ireland: Health and Safety Authority. https://www.hsa.ie/eng/topics/slips_trips_falls/pedestrian_surfaces/measuring_slip_resistance/
- [14] Schober P, Boer C, Schwarte L A, 2018. Correlation coefficients: appropriate use and interpretation. *Anesthesia & Analgesia* 126, 5, 1763-1768. <http://dx.doi.org/10.1213/ane.0000000000002864>