

DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PORTÁTIL PARA A MEDIÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS

Eduardo Amante¹

Dr. Eng. Elvys Mercado Curi²

Resumo:

A produção e consumo de revestimentos cerâmicos no Brasil estão entre os maiores do mundo, pela demanda interna e pela exportação. Para ter produtos de revestimento cerâmicos com qualidade e segurança, deve-se atingir algumas características físicas. O valor do coeficiente de atrito mínimo é uma grandeza importante para a segurança das pessoas, definindo a aplicação do revestimento cerâmico no piso, devido a que o escorregamento é a principal causa de lesões e acidentes ocupacionais. No Brasil, o coeficiente de atrito (COF) se avalia com a norma NBR 13818 da ABNT. O objetivo deste projeto é desenvolver um equipamento capaz de medir o COF de revestimentos cerâmicos que atenda a norma brasileira. Na concepção do produto se procura o desenvolvimento de um sistema de medição confiável e baixo custo. Para o desenvolvimento do produto foram utilizados conceitos de Benchmarking, Desdobramento da Função Qualidade (QFD), Projetos Assistido por Computador CAD, e a Teoria da Solução Inventiva de Problemas ou matriz TRIZ. Na sequência foram realizados alguns cálculos para a seleção de componentes do projeto. Os registros dos dados do coeficiente de atrito, foram realizados com o software Labview®, e seu processamento com o software Excel®. As ferramentas de projeto conceitual se mostraram úteis para as etapas de desenvolvimento. Para a validação dos resultados, utilizou-se o equipamento Tortus, o qual é um aparelho muito usado na indústria cerâmica. As medições do COF obtidos com o protótipo desenvolvido foram satisfatórios. A desvantagem deste aparelho são os cabos que devem ser ligados ao computador e outros à energia elétrica. Futuramente, o desenvolvimento do produto deve ter o registro de dados embarcado, assim como uma fonte de energia portátil.

Palavras-chave: Coeficiente de Atrito, Revestimento cerâmicos, Célula de Carga, Sistema de medições, Tortus.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente o Brasil, ocupa a segunda posição em produção e consumo de revestimento cerâmico, além de ser o sétimo na escala de exportação mundial, com negócios em mais de 110 países. (Exporevestir, 2019). A indústria cerâmica destaca-

¹ Graduando em Engenharia Mecânica. E-mail: eamante@gmail.com

² Prof. Dr. Eng. Elvys Isaias Mercado Curi. E-mail: elvys.curi@satc.edu.br

se pela considerável variedade de produtos em diversos campos de uso. Com o aumento exponencial da utilização, nos diferentes tipos de pavimentos, surge a necessidade de quantificar e avaliar as características físicas e químicas dos pisos.

Frequentemente, os revestimentos cerâmicos são associados a acidentes de escorregamento, pois quando as superfícies esmaltadas e/ou polidas têm rugosidade e atrito baixo, facilitam as quedas, (Scorisaa, 2016). O escorregamento se produziria pela perda de equilíbrio, falta de controle do indivíduo ou pela redução acentuada no valor COF entre o corpo em movimento e a superfície de apoio.

O COF, que se produz entre o pé e o piso, é um importante atributo que caracteriza os revestimentos cerâmicos. O valor do COF é relacionado às questões de segurança, devido a que acidentes por escorregamento estão entre as principais causas de lesões ocupacionais e acidentes ergonômicos. Segundo Englander et al. (1996) Wen-Ruey et al. (2016), custos por lesões de escorregamento e queda nos EUA aumentaram drasticamente com o avanço das idades das vítimas (em 1994 foi estimado em 64,4 bilhões de dólares). Foi projetado que o custo total aumentaria em 32,5% para 85,4 bilhões dólares até 2020. As quedas no mesmo nível, representaram 65% dos casos, conseqüentemente, 55% dos pedidos são custos de remuneração dos trabalhadores por lesões ocupacionais por quedas. Ao respeito Li et al. (2004), descreve que nos Centros de Controle e Prevenção de Doenças, as quedas foram a principal causa de lesões não fatais entre 2001 e 2014 e tem custo anual de US \$ 180 bilhões nos EUA. Mais de 50% das quedas são acidentes ocupacionais.

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT recomenda o método de medição do coeficiente de atrito para placas cerâmicas, pelo sistema Tortus, com a norma ABNT 13.818/1997, nela se especifica os métodos de ensaios.

Para a exportação de pavimentos cerâmicos é necessário cumprir com as normas de segurança adotado por cada país a respeito do escorregamento. O valor do coeficiente de atrito deverá estar dentro de uma faixa recomendável, assim como o método empregado para a medição e o tipo de sistema de medição. A certificação destes dados é importante para a aceitação e recepção do produto. Por outro lado, as empresas que comercializam também medem os valores do coeficiente de atrito dos pisos.

O objetivo deste artigo é desenvolver um equipamento que tenha a capacidade de determinar o coeficiente de atrito de pisos cerâmicos com a filosofia de ser um aparelho de baixo custo, confiável e automatizado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A informação sobre o desenvolvimento de um equipamento portátil de medição do coeficiente de atrito é tratada do modo geral. Também se aborda normas e métodos de medição do coeficiente de atrito.

2.1 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

O desenvolvimento de produtos é complexo, devido à quantidade de informações a ser processado. Para Mañà,(1998) segundo Silva (2001), a concepção moderna do desenvolvimento de produtos, identifica alguns técnicas e metodologias a que se dividi em quatro orientações: a concepção do produto orientada à geração de ideias (Benchmarking, matriz TRIZ, Teórico conceitual - TC), orientada ao cliente de mercado (QFD, Realidade virtual - RV), orientada à tecnologia do processo (Function Analysis System Technique FAST) e o do desenvolvimento do produto orientado à engenharia (assistido pelo computador CAD/CAE e FEA, FMEA).

Segundo Romano (2003), as atividades do processo do desenvolvimento de produto se subdividem em várias fases, que variam de acordo com tipo de complexidade do projeto, as quais seriam três macrofases: planejamento, projeção e implementação. Scheuer (2010) cita que a macrofase de planejamento envolve as ações para elaboração do projeto e o plano do projeto da máquina orientando as demais fases. O processo, envolve a elaboração do projeto do produto e manufatura, sendo decomposta em quatro fases intituladas: Projeto Informacional, Projeto Conceitual, Projeto Preliminar e Projeto Detalhado. As saídas esperadas para estas são respectivamente: especificações de projeto, concepção da máquina, viabilidade econômica e os investimentos. Rozenfeld *et al.* (2006) propõe um modelo direcionado às empresas de manufatura na qual divide o processo em três macro-fases: pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento.

2.2 MÉTODOS PARA A MEDIÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO

Os métodos de avaliação da resistência ao escorregamento mais usados são realizados por meios da medição do coeficiente de atrito. (Scorisa, 2016)

Para avaliar a medição do coeficiente de atrito estático ou cinético e seu escorregamento no chão *in situ*, foram identificados na literatura quase 30 dispositivos portáteis de teste. Conceitos sobre a resistência ao deslizamento e sua relevância para a segurança de pedestres foram discutidos, porém, poucos aparelhos testadores *in situ* foram selecionados para atender critérios mínimos de desempenho com confiabilidade. (Grönqvist, 2003).

A norma EN ISO 10545, contém três métodos de teste adequados para a resistência ao escorregamento: Do Pêndulo - UNE-ENV 12633 - Apêndice A, do Ângulo Crítico de Escorregamento - Método da rampa - DIN 51130: 2004 Seção 5, e do Coeficiente de atrito dinâmico - Método Tortus. (Menegazzo, 2019)

A falta de padronização entre os países, respeito aos ensaios de resistência ao escorregamento de pisos cerâmicos, é um empecilho à exportação destes produtos, pois não é possível estabelecer uma correlação adequada entre os valores de coeficiente estático e dinâmico. (Silva, 2003).

2.2.1 Pêndulo Britânico

O equipamento é citado como método para determinar o COF nas normas BS EN 13036-4:2011, ASTM E303-1993, AS 4663:2013 e AS 4586:2013 e se fundamenta em um pêndulo padronizado preso a um peso padrão com uma base de borracha, como se observa na Fig. 1.

Figura 1 – Vista geral Pêndulo Britânico



Fonte: Scorisaa (2016).

O equipamento funciona com um peso padrão o qual é colocado no pêndulo e depois é lançado na direção do piso, para que uma superfície de borracha deslize no piso. Durante o deslizamento se produz a força de atrito contrária ao movimento chamada de “ F_t ”. O atrito produz perda de energia e o movimento pendular atinge a altura máxima do pêndulo, o qual é registrada em uma escala graduada, deste modo se obtém o ângulo máximo atingido. O valor registrado pelo marcador é expresso em PTV (Pendulum Test Value), este representa o coeficiente de atrito multiplicado por 100. A tabela 1 mostra a relação do valor expresso pelo equipamento e o potencial de escorregamento.

Tabela 1: Melhor configuração do atrito (tensão constante).

PTV	0-24	25-35	>36
Potencial de Escorregamento	Alto	Moderado	Baixo

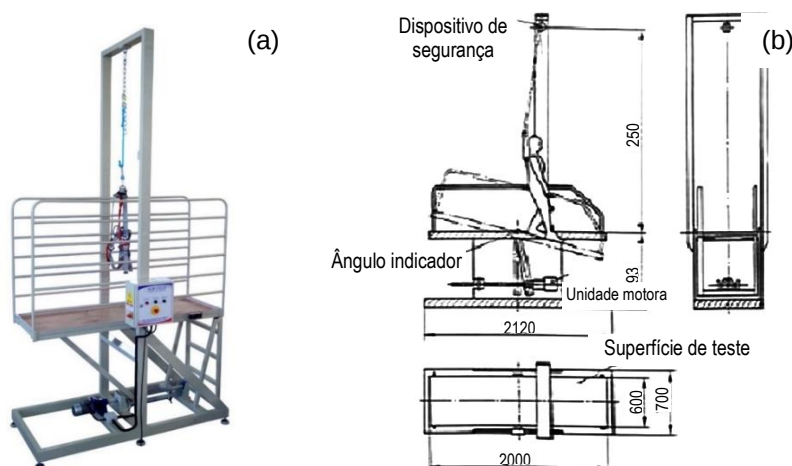
Fonte: Baseado e/ou Adaptado de Fonseca (2005, p. 61)

2.2.2 Método Rampa

As normas DIN 51130 e DIN 51097 abordam o método da rampa, sendo considerada o método mais confiável e próximo da realidade do caminhar humano, mas, apesar das vantagens, é um teste mais caro e não permite medições em pisos já instalados, pois seria necessário instalar a superfície na máquina, (Scorisaa, 2016).

A Fig. 2 mostra o equipamento rampa.

Figura 2 – Método de rampa: a) Vista geral, b) Dimensões



Fonte: www.servitech.com.br (acessado em agosto 2019).

No teste de escorregamento o piso é colocado na plataforma de inclinação variável. O operador fica sobre as peças, permanecendo até que a inclinação não permita que ele fique de pé. O ângulo de inclinação é registrado e convertido no valor de COF. As tabelas 2 e 3 mostram a relação do ângulo com o COF.

Tabela 2: Classificação segundo a norma DIN 51097 para pés descalços em superfícies contaminadas com água e sabão.

Ângulo de escorregamento	12° a 17°	18° a 23°	>24°
Coeficiente de atrito	0,21-0,31	0,32-0,42	>0,45

Fonte: Baseado e/ou Adaptado de Fonseca (2005, p. 61)

Tabela 3: Classificação segundo a norma DIN 51130 para superfícies contaminadas com óleo de motor e operador calçado com botas especializadas. A escala R classifica os pisos como mais (R9) ou menos (R13) escorregadios.

	R9	R10	R11	R12	R13
Ângulo de escorregamento	6°-10°	10°-19°	19°-27°	27°-35°	>35°
Coeficiente de atrito	0,11-0,18	0,18-0,34	0,34-0,51	0,51-0,70	>0,70

Fonte: Baseado e/ou Adaptado de Fonseca (2005, p. 61)

2.2.3 Teste Slipalert

Assemelha-se ao teste do pêndulo e os resultados do coeficiente de atrito estático apresentam boa correlação. Nesse caso a base de borracha que resvala no revestimento se encontra sob um carrinho que é solto de uma rampa com inclinação e altura padronizada. A Fig. 3 mostra o equipamento Slipalert.

Figura 3 – Vista geral do teste Slipalert



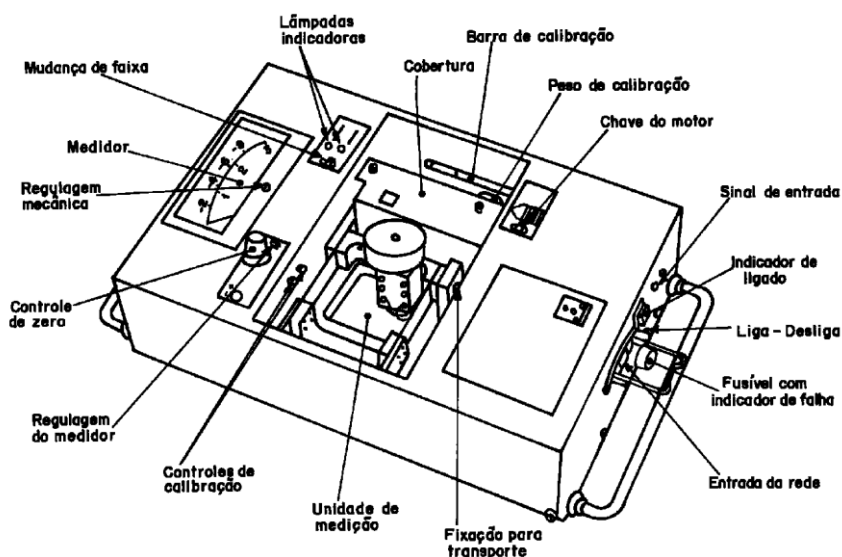
Fonte: Scorisaa (2016).

2.2.4 Deslizadores motorizados

As normas ISO/DIS 10545, anexo 17, e ABNT 13818;1997, anexo N, descrevem o procedimento de determinação do COF dinâmico por meio do equipamento Tortus. A medição do COF baseia-se na determinação da razão entre a força de atrito tangente (F_t) à superfície e a força normal (F_n) aplicada sobre um elemento que se movimenta com velocidade constante, (Ueno et al, 1999).

São dispositivos portáteis, compostos de rodas motorizadas, onde os mesmos percorrem o revestimento arrastando uma base de borracha. A resistência do piso ao deslizamento da borracha é registrada e convertida em valores do coeficiente de atrito dinâmico. A Fig. 4 mostra os componentes do equipamento Tortus.

Figura 4 – Vista geral do deslizador tipo Tortus.



Fonte NBR 13818:1987 (1987, p. 43)

Demarch (2019), avalia a resistência ao escorregamento em superfícies com revestimentos cerâmicos, usando 4 métodos: com o equipamento Dynamic Slip conhecido no Brasil como Tortus, o BOT usado apenas nos EUA, de Rampa e o Pêndulo. Nos resultados o Pêndulo é quem mostrou menor variabilidade do COF, na maioria das superfícies testadas, na condição seca e úmida. Os equipamentos Tortus e Bot tiveram maior variabilidade de valores do COF. A desvantagem do método da rampa é que não permite realizar testes *in loco*. O Tortus e Bot são equipamentos de fácil operação e pouca interferência humana, sua desvantagem é a alta variabilidade

do COF. O Tortus deu problemas de medição em superfície lisas, pelo efeito *stick-slip*.

Silva (2001), analisa o COF usando os quatro métodos das normas (ISO/DIS 10545-17) e europeia (prEN 13552), em uma extensa gama de pavimentos cerâmicos, com pavimentos cerâmicos polidos até materiais com elevada rugosidade. Os resultados do equipamento Tortus com base no valor mínimo ($\mu_{\text{mínimo}} = \mu_{\text{médio}} - 2\sigma$) e comparando-os com COF do pêndulo, a correlação entre os dois parâmetros melhora em todo o intervalo de valores. Nos casos em que os pavimentos apresentam relevos, não deu uma boa correlação. Nesta superfície, o dispositivo vibra excessivamente e altera os resultados, gerando elevados valores de desvio padrão.

2.3 COEFICIENTES DE ATRITO

O coeficiente de atrito é uma grandeza adimensional que indica a resistência ao qual a superfície oferece ao objeto que está em movimento. Se baseia na relação da força de atrito tangente à superfície e a força normal aplicada sobre um elemento. A lei de atrito de Amonton's e Coulomb se descreve como a relação de forças tangencial e normal apresentada na Eq. 1:

$$\mu = \frac{F_t}{F_n} \quad (1)$$

Onde:

μ = Coeficiente de atrito COF (adimensional)

F_t = Força tangente (N)

F_n = Força Normal (N)

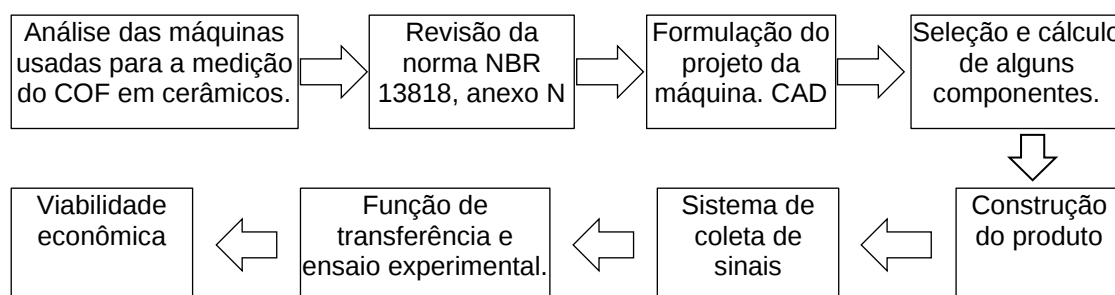
Segundo a norma ABNT 13818-N e ISO 10545-17, pisos antiderrapantes devem possuir o valor mínimo do coeficiente de atrito cinético de 0,4. Para Oliveira (2015), o coeficiente de atrito antiderrapante se deve determinar medindo-se com uma borracha padrão com o pé em movimento. Para hospitais e lares de idosos, o valor aumenta de 0,5 a 0,6. Portanto, há uma exigência que um aparelho simples permita

que proprietários de edifícios e empresas de limpeza avaliem o coeficiente de atrito do piso usando um controle padrão, (Hughes, 2002).

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste tópico se apresenta, a sequência de atividades e metodologias utilizadas ao longo deste trabalho. O diagrama da Fig. 5, apresenta a sequência empregada nas atividades do processo para o desenvolvimento do produto e a caracterização do projeto estudado.

Figura 5 – Sequência das atividades realizados para a proposta do produto



Fonte:Autor (2019)

A análise das máquinas usadas para a medição do COF se deu na revisão bibliográfica. O equipamento portátil mais usado na Europa é o Tortus, o qual consiste em um carrinho que tem um sensor que mede a força de atrito e um programa que calcula o coeficiente de atrito dinâmico. O cálculo do coeficiente de atrito se realiza com a equação 1, onde a força normal é uma carga que é instalada acima do sensor que mede a força de atrito.

3.1 REVISÃO DA NORMA NBR 13818, ANEXO N

O desenvolvimento do equipamento deve atender as recomendações da norma local ABNT NBR 13818, anexo N, pelo que se projeta um aparelho móvel portátil, que tenha seus instrumentos e sistema de medição no aparelho. Quando opera o equipamento, deve-se deslizar sobre a superfície, registrando sinais de força. Sendo que o método de Desdobramento da Função Qualidade QFD (*Quality Function*

Deployment) considera que os requisitos são colocados pelo cliente para ter um produto funcional e de qualidade. Portanto, o modelo e seu processo de operação se adotam a norma como o cliente guia do projeto.

Uns dos aparelhos mais usados, na medição do coeficiente de atrito dinâmico, é o equipamento TORTUS. Segundo Brough (1996), as principais características do equipamento TORTUS são a carga normal, velocidade, diâmetro e material da sapata, os dados são mostrados na tab.4.

Tabela 4: Características equipamento TORTUS.

Características	Valores
Carga Vertical (g)	200
Diâmetro Sapata (mm)	9
Velocidade (mm/s)	17
Material da sapata	Borracha 4S*

Fonte: Adaptado de Brough (1996, p. 440)

* Simulated Standard Shoe Sole, (dureza 96 ± 2 ; shore A), Kim (2012)

3.2 FORMULAÇÃO DO PROJETO DA MÁQUINA

O Projeto de Desenvolvimento do Produto (PDP), inicia-se com a pesquisa de benchmarking analisando máquinas existentes no mercado. Estuda-se o seu funcionamento e seus mecanismos para realizar a prova assim como as possíveis melhorias para cada equipamento. A norma vigente no Brasil para determinar o coeficiente de atrito de revestimentos cerâmicos, ABNT NBR 13818, anexo N, recomenda usar o aparelho deslizador motorizado do tipo TORTUS.

O projeto do equipamento consiste em criar um carrinho com rodas motorizado dotado de um sensor de carga. Quando o equipamento desliza sobre a superfície, o sensor do carrinho entra em contato com as asperezas dos cerâmicos, deste modo se mede a força de atrito e se registra em um arquivo de dados. Depois continua o processamento de dados que determina o coeficiente de atrito dinâmico.

Um requisito deste projeto é que o equipamento deve ter um alto nível de confiabilidade nas coletas das informações, além de baixo custo e que atenda a norma atualmente em vigor.

Para atender todos os requisitos geométricos do projeto, foi utilizado a ferramenta para desenvolvimento de produto CAD (desenho assistido por

computador). O projeto conceitual inicia com a modelagem do protótipo, criando-se as peças e componentes considerando as recomendações colocados anteriormente.

O desenvolvimento do produto, se iniciou com a análise dos diferentes equipamentos de medição do coeficiente de atrito, disponíveis no mercado, observando os sites dos fabricantes, complementando-se com a revisão bibliográfica. Também foi realizado a consulta da norma atualmente em vigor no país, NBR 13818 anexo N. Na sequência, foi avaliado descrição do funcionamento do equipamento, para descrever as propostas de componente e dimensões do produto usando o conceito de projeto de desenho assistido por computador CAD, por meio do software Solidworks®.

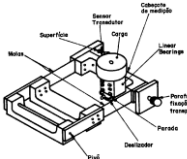
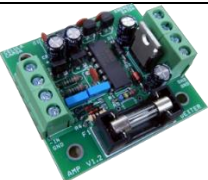
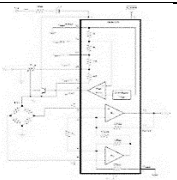
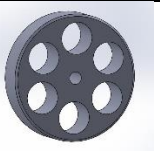
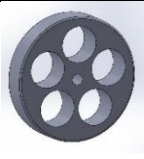
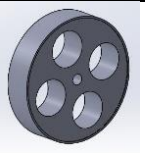
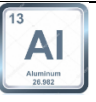
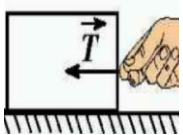
Complementa-se o estudo da medição do coeficiente de atrito, com informação sobre os diferentes tipos de produto de revestimento, que o mercado cerâmico dispõe atualmente.

O equipamento se dividiu em duas partes: o carrinho e o sistema de medição. As dimensões do carrinho se submeteram às ao espaço necessário para os sistemas de medição. Para a escolha dos elementos do sistema de medição se utilizou a ferramentas de projeto denominado de matriz morfológica TRIZ ou teoria inventiva para solução de problemas. Este método propõe avaliar diferentes opções de elementos que podem ser usados para o mesmo objetivo e escolher a mais apropriada considerando o vínculo com outros elementos.

Devido à existência de diferentes instrumentos de medição a ser usados, para sua escolha, foi criado uma matriz morfológica, com a lista de produtos ou opções. Na coluna 1 da tabela 5, foram colocadas as opções de mecanismos e ferramentas que seria necessário instalar no equipamento. Os princípios se apresentam em ordem crescente de viabilidade econômica. Na aplicação da matriz TRIZ a relação de elementos selecionados é comparado e quantificado sua viabilidade a ter um desempenho aceitável para a medição do coeficiente de atrito do revestimento cerâmico.

De acordo com cada subfunção do equipamento, foi selecionado as opções mais adequadas que atendam os princípios de confiabilidade e baixo custo onde foi eleito os elementos da coluna 2 da tabela 5.

Tabela 5. Relação de componentes possíveis de usar no equipamento.

Função	Princípio 1	Princípio 2	Princípio 3
Instrumento de medição da força tangente	 Extensômetro	 Célula de carga	 Sensor Písoelétrico
Sistema de registro de dado	 Sistema Wireless	 USB6000 NI	 Arduino
Amplificador de sinal	 Digital	 Analógico	 Próprio
Roda de transporte	 Grande	 Média	 Pequena
Material da Carcaça	 Alumínio	 Aço	 MDF
Ajuste de Velocidade	 Eletrônica	 Combinado	 Redutor
Tipo de Motor	 Passo	 Motor CC	 Manual
Fonte de Energia	 Bateria	 Fonte Eletrônica	 Fonte Retificadora

Fonte:Autor (2019)

3.3 SELEÇÃO E CÁLCULO DE ALGUNS COMPONENTES

Com o valor da velocidade necessária para a movimentação do carro, se definiu o diâmetro da roda. Após, foi calculado a rotação do moto redutor, deste modo se atende a relação de velocidades do projeto. Para realizar o cálculo e determinar a sua rotação utiliza-se a equação 2.

$$n = \frac{60v}{2\pi R} \text{ [rpm]} \quad (2)$$

Onde:

n = Rotação por minuto (rpm)

v = Velocidade (mm/s)

R = Raio da roda (mm)

Para a velocidade de 17 mm/s e com a roda de raio 48 mm instalada no carro, foi necessário um motor com a rotação no eixo de 3,38 RPM. Para o estudo da influência da velocidade na medição do coeficiente de atrito, a velocidade foi alterada com o uso de uma placa eletrônica que regula a tensão elétrica de saída. Deste modo se coletaram informação do comportamento do coeficiente de atrito em função da velocidade operando em diferentes superfícies cerâmicas.

Para estabelecer o modelo da célula de carga foi necessário definir a carga máxima que o equipamento vai medir e para determinar esta grandeza, consideramos o coeficiente de atrito máximo encontrado em catálogos e boletins de ensaios.

A carga máxima aplicada à superfície de contato, se calcula com a Eq. 3.

$$N = Fn \mu \text{ [N]} \quad (3)$$

Onde:

N = Força de atrito (N);

F_n = Força normal (N);

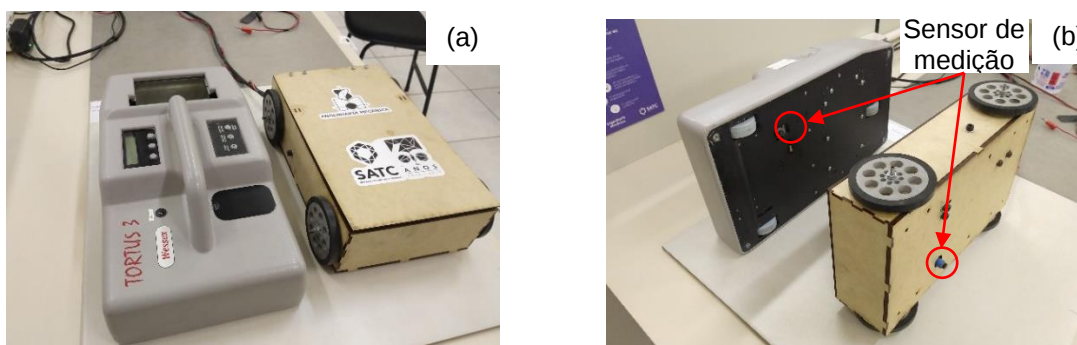
μ = Coeficiente de atrito;

Segundo os dados da Tab. 4, a força normal deverá ser de 200 g onde multiplicado por um coeficiente de atrito com valor de 1, a força máxima estaria próximo de 2 N, para especificar a célula de carga.

3.4 CONSTRUÇÃO DO PRODUTO

Após a etapa das concepções, seleção de componentes e verificar quais das propostas atendem as necessidades do projeto, foi aplicado as outras metodologias que permitiram a elaboração do produto por meio do software Solidworks®. A Fig. 6 mostra o protótipo e o equipamento Tortus para a comparação dos valores do coeficiente de atrito.

Figura 6 – Vista dos equipamentos Tortus e protótipo a) Imagem superior b) Imagem que mostra o sensor de medição de coeficiente de atrito



Fonte: Do autor (2019)

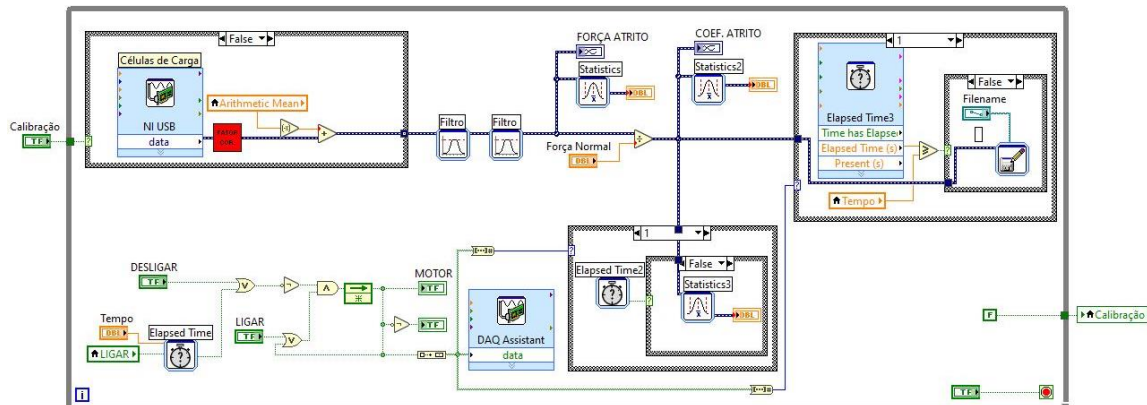
3.5 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Para a medição da força de atrito como sinal no tempo, utiliza-se uma célula de carga disponível no laboratório da SATC com capacidade de 5 kg na marca Aeph do Brasil® que atende as especificações do projeto.

Na coleta de dados, o sinal da célula de carga passa pelo condicionador de sinal o qual é o amplificador Dexter®, quem possibilita a leitura, que o sinal de tensão elétrica fornece como sinal analógico. Os dados são conduzidos à porta de entrada da Placa Conversor Analógico Digital da Nacional Instruments® modelo USB6000 deste modo se registra os dados no computador usando o software LabVIEW®.

Com o auxílio de um programa de aquisição de dados, construído em LabVIEW®, se coleta as informações da célula de carga, obtendo-se a força de atrito. Também foi programado o comando para acionamento do motor do carro que liga e desliga o equipamento durante o tempo de coleta de dados Fig. 7.

Figura 7 – Programação no software LabVIEW®

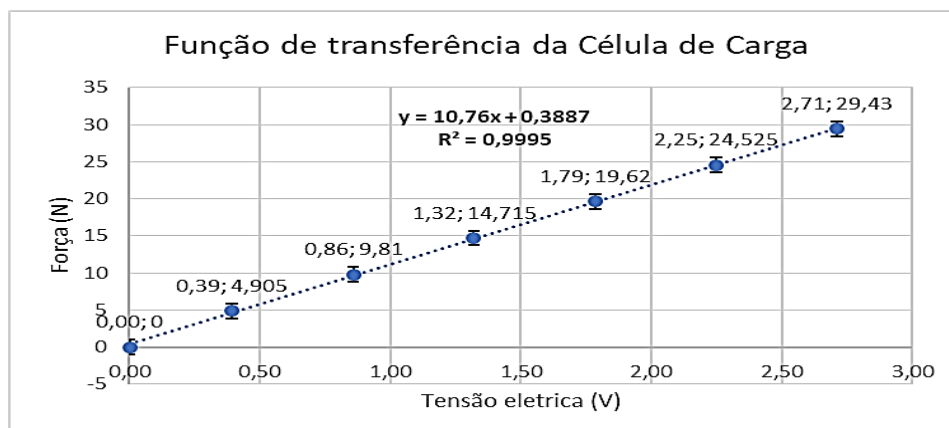


Fonte: Do Autor 2019

3.6 FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA E ENSAIO EXPERIMENTAL.

Antes de instalar a célula de carga no equipamento portátil, foi determinada a função de transferência da célula de carga. Deste modo o sinal de tensão elétrica (V), que recebe a placa analógica digital se converte em força (N). A função de transferência se determina aplicando massas padrões de 0,5 kg com 7 massas e se teve o sinal de resposta. O valor médio e seu desvio padrão são mostrados na Fig. 8.

Figura 8 – Função de transferência da célula de carga com valores medidos



Fonte: Do autor (2019)

A determinação do fator de conversão se realizou usando conceitos de regressão linear e o valor da inclinação foi 10,76. O valor da intercepção foi de 0,38 e o coeficiente de correlação 0,99. O desvio padrão foi pequeno para todos os casos.

3.7 AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Realizamos uma análise econômica simples para determinar os custos relacionados ao desenvolvimento do projeto Tab.4 assim como os custos de fabricação do protótipo na Tab. 6.

Tabela 6: Custo de desenvolvimento do projeto.

Etapa	Valores (R\$)
Célula de carga	259,00
Moto redutor	255,74
Amplificador de sinal	150,00
Fonte eletrônica	112,00
MDF cortado em laser	210,00
Placa para controle de Velocidade	137,00
Conjunto de rodas	250,00
Eixo	55,00
Parafusos de fixação	10,00
Sapata	281,00
Relé Eletromecânico	79,90
Usinagem	350,00
Placa de aquisição	1.165,00
Computador	3.000,00
Licença software Labview®	10.000,00
Licença software excel®	800,00

Fonte: Do autor (2019)

O custo para aquisição os materiais e construção de um produto novo fica estimado em R\$ 16.860,64.

Para avaliar o desempenho do equipamento portátil foram realizados ensaios com diferentes velocidades para medir o coeficiente de atrito em 4 pisos cerâmicos. Também se realizou a medição do coeficiente de atrito com o equipamento Tortus para comparar os valores com o protótipo. Deste modo se selecionou a velocidade mais apropriada para o protótipo.

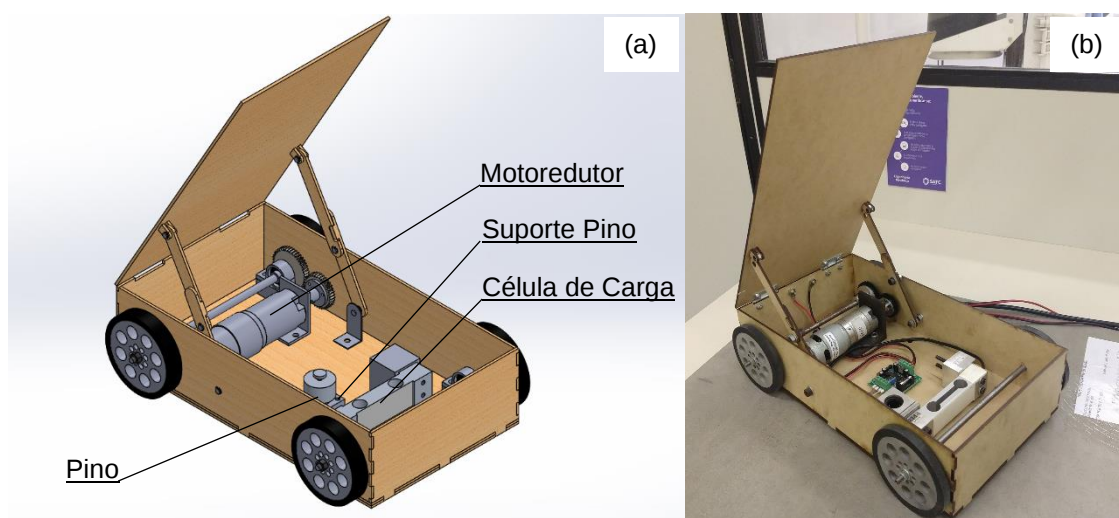
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados são apresentados por capítulos, iniciando pelo equipamento projetado, a concepção do sistema de medição e na sequência, os resultados de medição do coeficiente de atrito obtidos em amostras de 4 peças cerâmicas.

4.1 CONSTRUÇÃO DO CARRO

O desenho do projeto do equipamento com a descrição dos componentes é mostrado na Fig. 9a. Para a construção da estrutura do equipamento foi utilizado placas de MDF, onde foram incorporados os elementos selecionados da tabela 5. A montagem do produto se mostra na Fig. 9b.

Figura 9 – Projeto carro: a) Conceito b) Construção do produto



Fonte: Do autor (2019)

Além dos componentes mostrados no desenho CAD, adicionou-se no interior do carro transportador, o amplificador de sinal da célula de carga. Os componentes que ficaram fora da máquina são: o dispositivo USB-6000, fonte de energia elétrica CC, placa controladora de velocidade, relé eletromecânico.

4.2 CONTROLE E CADEIA DE MEDIÇÕES

A instalação do equipamento de controle do motor, assim como o sistema de medição de aquisição de sinal, é mostrada no diagrama da Fig. 10. Os dispositivos de controle de medição, estão conectados à placa analógica digital USB-6000 da National Instruments®. Esta placa se conecta ao computador por meios de um cabo USB.

O funcionamento do carro se executa por meio de um sinal de entrada o qual é controlado por um relé, deste modo se aciona o motor e se movimenta o carrinho. Durante o movimento do carro se adquire o sinal da célula de carga e para sua coleta automaticamente quando o veículo para.

Figura 10 – Cadeia de medições da célula de carga e do relé



Fonte: Do autor (2019)

O sinal obtido do sistema eletrônico e enviado ao computador é registrado através do software Labview® com um programa específico para a coleta. Depois que o sinal passa por um filtro passa baixa, o coeficiente de atrito das amostras é

calculado. O programa executa também o controle de acionamento e desligamento do motor, com o auxílio de um relé eletromecânico NA (normalmente aberto).

4.3 RESULTADO DOS EXPERIMENTOS

Foram realizados ensaios em 4 velocidade distinta na superfície de um revestimento cerâmico chamado de “Detroit”. Com o dado do valor da força normal exercida na amostra de revestimento, e aplicando a força de atrito na equação (1), se determina o coeficiente de atrito dinâmico. Para cada velocidade foram realizados 3 ensaios onde a média de cada ensaio registrado pelo software resulta em um valor do coeficiente de atrito da amostra. A média dos valores do COF dinâmico, são mostrados na tabela 7 assim como também estão o valor do desvio padrão. Os resultados dos ensaios, com quatro velocidades diferentes (17 mm/s, 25,5 mm/s, 34 mm/s e 42,8 mm/s) e os valores da média do coeficiente de atrito, correspondem após de um período de estabilização de 2 segundos de iniciado o registro de dados.

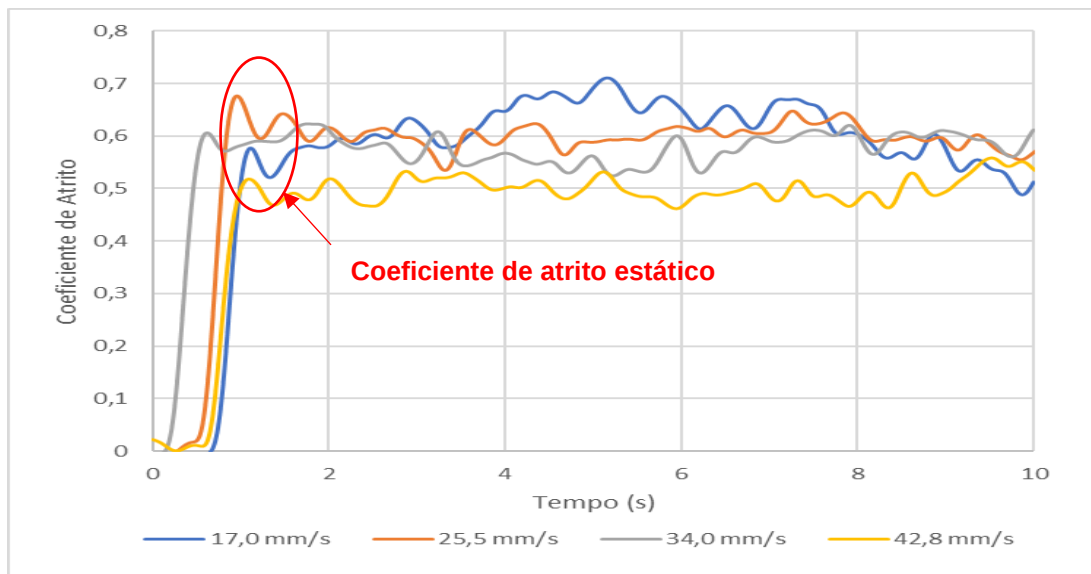
Tabela 7: Comparativo do COF para 4 velocidades

Velocidade (mm/s)	COF Dinâmico	Desvio Padrão
17,0	0,62	0,05
25,5	0,59	0,02
34,0	0,57	0,02
42,8	0,50	0,02

Fonte: Do autor (2019)

Os valores médios do coeficiente de atrito dinâmico correspondem a 8 segundo de coleta de sinal. O sinal do coeficiente de atrito em função do tempo é mostrado na Fig. 11 para 4 velocidades. Ao observar o sinal de coeficiente de atrito, obtido com o protótipo no tempo de zero a 2 s, percebe-se que o primeiro pico que se destaca é caracterizado como o coeficiente de atrito estático da amostra.

Figura 11 – Coeficiente de atrito protótipo do cerâmico Detroit



Fonte: Do autor (2019)

A Tab. 8 mostra os valores do COF registrados do cerâmico Detroit.

Tabela 8: Coeficiente de atrito estático do cerâmico Detroit

Velocidade (mm/s)	COF Estático	Desvio Padrão
17,0	0,58	0,26
25,5	0,67	0,29
34,0	0,62	0,10
42,8	0,51	0,22

Fonte: Do autor (2019)

Para avaliar os resultados e selecionar a velocidade mais apropriada para o equipamento se realizaram medições do coeficiente de atrito de uma amostra, com um equipamento padrão, chamado de Tortus. Este aparelho é o mais usado na indústria cerâmica e internacionalmente é recomendado pela norma ISO 10545 anexo 17. Os ensaios comparativos entre o Tortus e do protótipo permitiram selecionar a velocidade do equipamento

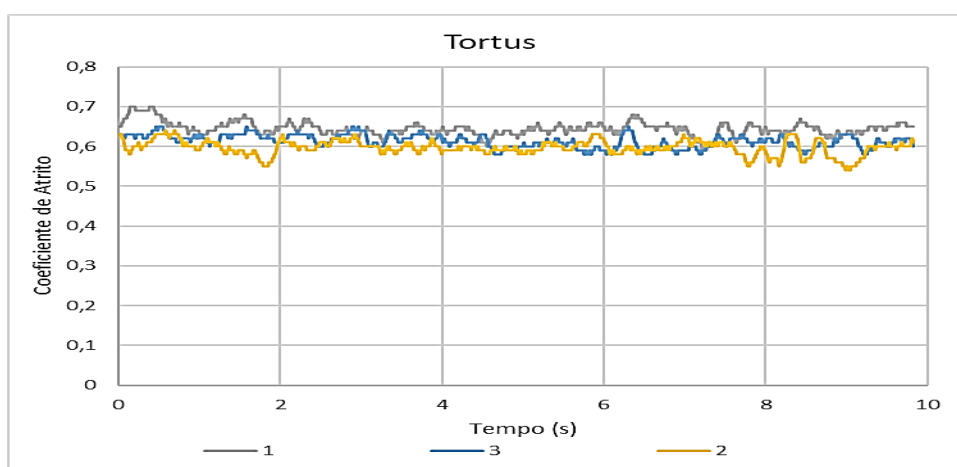
Com o equipamento Tortus, foram registrados três valores do coeficiente de atrito, nas mesmas condições e os resultados do coeficiente de atrito médio de cada medição é mostrado na Tab. 9 e seus respectivos sinais na Fig 12.

Tabela 9: Ensaio com Tortus do cerâmico Detroit

Ensaio	COF Dinâmico	Desvio Padrão
1	0,64	0,02
2	0,59	0,02
3	0,61	0,02
Média	0,61	0,02

Fonte: Do autor (2019)

Figura 12 – Medição Equipamento Tortus do cerâmico Detroit



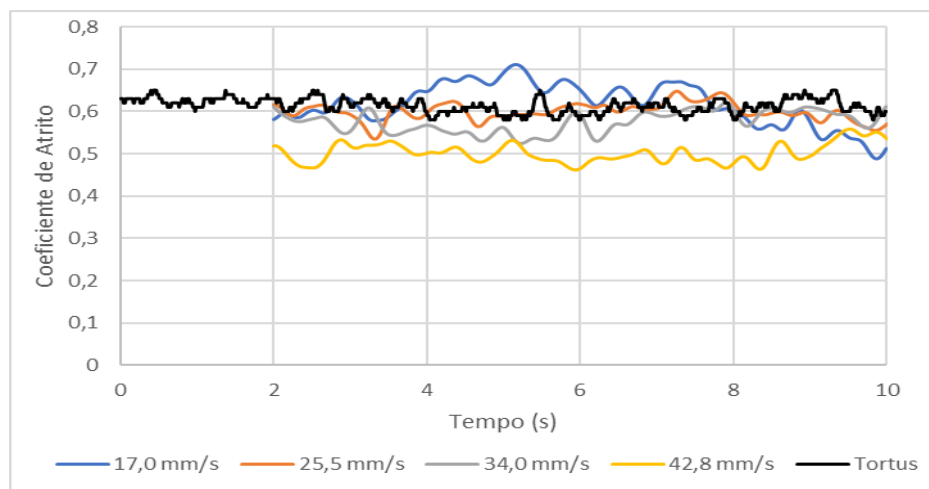
Fonte: Do autor (2019)

Se as condições de medição foram as mesmas para o equipamento Tortus, os valores do COF médio de cada medição não foram as mesmas. Também o sinal não foi idêntico entre eles, mas os valores estão próximos. Por isso é necessário o valor representativo de todas as medições ou valor da média e suas incertezas mencionados como desvio padrão.

No equipamento Tortus, foi observado que o equipamento não disponibiliza a medição do coeficiente de atrito estático

Depois realizar-se a medição do coeficiente de atrito dinâmico, com o Tortus, também se realizou medições do coeficiente com o protótipo na mesma amostra e nas mesmas condições. Os resultados do coeficiente de atrito médio do protótipo foram mostrados na Tab. 8 e do Tortus na Tab. 9. A comparação dos sinais do coeficiente de atrito do Tortus e do protótipo, coletados do cerâmico Detroit, são mostrados na Fig. 13.

Figura 13 – Comparação dos sinais do coeficiente de atrito



Fonte: Do autor (2019)

Os resultados das tabelas acima mostram uma semelhança nos valores de coeficiente de atrito do equipamento Tortus com o protótipo construído na SATC com os valores de velocidade de 17 e 25,5 mm/s conforme indica a Fig. 12.

Foi provado de que é possível estabelecer a correlação entre o equipamento construído na SATC com o equipamento Tortus, com ensaios nas mesmas condições de velocidade. Também foi observado que os valores de coeficiente de atrito dinâmico variam com mudança da velocidade de prova. O protótipo consegue fornecer o coeficiente de atrito estático e observa-se que os valores mudam em cada ensaio.

Foram realizados mais três ensaios em outros corpos de prova, desta vez apenas com duas velocidades. A tabela 10 resume os resultados do revestimento cerâmico 2. Foi observado que o COF dinâmico com a velocidade de 17 mm/s o valor médio é 0,56 e no Tortus é 0,57 os valores estão próximos.

Tabela 10: Comparativo das velocidades e Tortus do cerâmico 2

Velocidade (mm/s)	COF Estático	Desvio Padrão	COF Dinâmico	Desvio Padrão
Protótipo 17,0	0,61	0,26	0,56	0,02
Protótipo 25,5	0,43	0,19	0,45	0,03
Tortus	0	0	0,57	0,02

Fonte: Do autor (2019)

A tabela 11 mostra os resultados da mostra do revestimento cerâmico 3. Foi observado que os três resultados estão próximos, mas na velocidade de 17 mm/s deu o mesmo valor o coeficiente de atrito médio e seu desvio padrão.

Tabela 11: Comparativo das velocidades do protótipo e Tortus

Velocidade (mm/s)	COF Estático	Desvio Padrão	COF Dinâmico	Desvio Padrão
Protótipo 17,0	0,61	0,27	0,56	0,02
Protótipo 25,5	0,61	0,26	0,55	0,03
Tortus	0	0	0,56	0,02

Fonte: Do autor (2019)

A tabela 12 mostra outro resultado da mostra do revestimento cerâmico 4. Foi observado que os resultados do coeficiente de atrito médio 0,71 e 0,72 para as velocidades de 17 mm/s e 25,5 mm/s respectivamente. Estes valores estão afastados do valor do equipamento Tortus, que deu 0,66 e tem o desvio padrão de 0,06.

Tabela 12: Comparativo das velocidades e Tortus

Velocidade (mm/s)	COF Estático	Desvio Padrão	COF Dinâmico	Desvio Padrão
17,0	0,77	0,27	0,71	0,02
25,5	0,78	0,33	0,72	0,02
Tortus	0	0	0,66	0,06

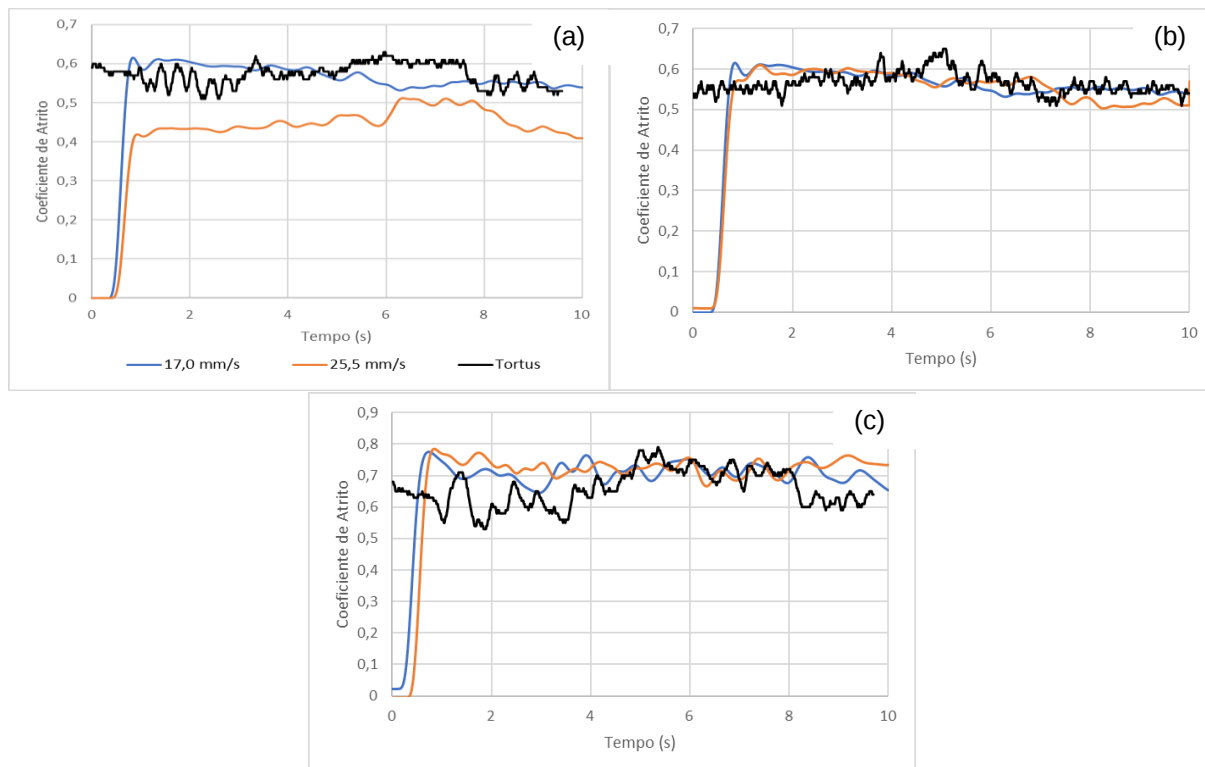
Fonte: Do autor (2019)

Os sinais do COF dos corpos de prova 2, 3 e 4, em função do tempo, são mostrados na Fig. 14. O sinal comparativo do coeficiente de atrito do corpo de prova 2, da Fig. 14a mostra que na velocidade de 17 mm/s os valores com o sinal de Tortus estão próximos, sendo mais estável o sinal do protótipo. O sinal de 25,5 mm/s está afastado do sinal do Tortus.

A Fig. 14b mostra o sinal do COF do corpo de prova 3, com o melhor resultado coincidindo o valor médio do COF cinético na velocidade de 17 mm/s.

A Fig. 14c mostra o sinal do COF do corpo de prova 4, nesta vez os resultados não coincidem. O sinal do equipamento Tortus é mais instável, isto se deveria ao relevo que apresentava no piso cerâmico, enquanto que os outros corpos de prova não tinham essa instabilidade no sinal.

Figura 14 – Coeficiente de atrito do cerâmico: a) amostra 2 b) amostra 3 c) amostra 4



Fonte: Do autor (2019)

Os resultados do COF, obtidos nos ensaios nos revestimentos cerâmicos, mostraram que o uso de célula de carga em substituição ao extensômetro, que funciona no Tortus tem resultados aceitáveis.

A norma define o valor mínimo do COF de 0,4 para pisos antiderrapantes, mas não define sua incerteza. Os resultados sobre as fontes de incerteza, do instrumento de medição Tortus, realizado por Ueno et al (1999) mostraram que: a placa de aquisição de sinais, o software, o sensor, o tipo de material, a forma e preparação da superfície de contato sobre o piso cerâmico, bem como a variação da superfície lisa da cerâmica, influenciam na incerteza do COF.

5. CONCLUSÃO

Das diversas técnicas e métodos para o desenvolvimento de produto encontrado na literatura, o Benchmarking, triz e CAD foram as ferramentas indispensáveis utilizadas para elaborar o equipamento proposto.

Para a proposta inicial da configuração do aparelho, utilizou-se o benchmarking para identificar os equipamentos disponíveis no mercado e suas possíveis melhorias para a criação de um novo produto. A metodologia triz possibilitou classificar de uma forma ampla e clara os circuitos, componentes e os mecanismos do aparelho. Com a ferramenta CAD, modelou-se aquele produto que foi julgado o mais indicado para realização dos ensaios no Laboratório de vibrações da SATC.

Com o experimento realizado, constata-se que o objetivo proposto pelo trabalho foi atingido, onde através de uma célula de carga acoplada a um pino exercendo uma força transversal ao movimento do carro, foi possível determinar o COF de revestimentos cerâmicos e se determinou a velocidade de avanço ideal para atingir o valor esperado. Os valores de COF foram comparados com o equipamento Tortus o qual é recomendado pela norma ABNT atual. Os resultados se mostram coerentes e se mostram equivalentes.

Os conhecimentos agregados na fase de prototipagem e construção da máquina foram de grande valia para o entendimento deste fenômeno e trouxe uma nova visão para obtenção de uma nova grandeza como o coeficiente de atrito estático, este que até então, não está disponibilizado junto com o coeficiente de atrito dinâmico em um único equipamento nos produtos estudados.

Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se dar continuidade na instrumentação do equipamento, adicionando componentes embarcados e implementando outros métodos de transmissão de dados para o computador, além de implementar e aperfeiçoar o produto.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT – NBR 13818:1997
Placas cerâmicas para revestimento - Especificação e métodos de ensaios.

BROUGH, RALPH. SLIP RESISTENCE OF CERAMIC FLOORING. In: Qualicer 96. IV World Congress on Ceramic Tile Quality. General Conferences and Communications. Pt. 2. Castellon. 1996.

DEMARCH, Aline. Análise da relação entre rugosidade superficial e resistência ao escorregamento de revestimentos cerâmicos submetidos ao desgaste. 2019.

ENGLANDER, Fred, J. HODSON, Thomas, A. TERREGROSSA, RALPH, 1996, "Economic Dimensions of Slip and Fall Injuries", Journal of forensic sciences, 41(5):733-46, october 1996.

Exporevestir, CERÂMICA BRASILEIRA É DESTAQUE NO MAIOR FESTIVAL DE DESIGN DO MUNDO <https://www.exporevestir.com.br/ceramica-brasileira-e-destaque-no-maior-festival-de-design-do-mundo4> acesso (Setembro, 2019).

GRÖNQVIST, Raoul et al. The validity and reliability of a portable slip meter for determining floor slipperiness during simulated heel strike. Accident Analysis & Prevention, v. 35, n. 2, p. 211-225, 2003.

HUGHES, R. C.; JAMES, D. I. The Hughes gauge: a new method for measuring coefficient of friction. Polymer testing, v. 21, n. 1, p. 39-42, 2002.

KIM, Jungsoo. Comparison of three different slip meters under various contaminated conditions. Safety and health at work, v. 3, n. 1, p. 22-30, 2012.

LI, Kai Way et al. Floor slipperiness measurement: friction coefficient, roughness of floors, and subjective perception under spillage conditions. Safety Science, v. 42, n. 6, p. 547-565, 2004.

MENEGAZZO, A.P.M.; DIAS, L.L.; SERAFIM, M.A. Interlaboratory Tests of Ceramic Tiles According to International Standards ISO 10545. Disponível em: www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdfs/83%20POSTER%20ING acesso (Setembro, 2019).

Norma EN ISO 10545 Part 17: "Determination of coefficient of friction"

OLIVEIRA, Antonio Pedro Novaes de; HOTZA, Dachamir. Tecnologia de Fabricação de Revestimentos Cerâmicos. Editora da UFSC, 2015.

ROMANO, Leonardo Nabaes et al. Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas. 2003.

ROZENFELD, Henrique; FORCELLINI, Fernando Antônio; AMARAL, Daniel Capaldo; TOLEDO, José Carlos de; SILVA, Sergio Luis da; ALLIPRANDINI, Dário Henrique; SCALICE, Régis Kovacs. Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma referência para a melhoria do produto. São Paulo: Editora Saraiva, 2006.

SCHEUER, Cristiano José. Sistematização do processo de projeto—por evolução—de um equipamento de ensaios de escovação dentária através da aplicação de um modelo de referência. Revista Tecnologia, v. 31, n. 2, p. 190-206, 2016.

SCORISAA, Murilo Milani; Lot, Ana Virgínia; Melchiadesa, Fábio Gomes; Boschia, Anselmo Ortega; 2016 “Breve Descrição dos Métodos de Avaliação da Resistência ao Escorregamento de Revestimentos Cerâmicos” Cerâmica industrial., vol.21, n3, p.0.

SILVA G. , A. Muñoz, C. Felíu, C. RODRIGUEZ, J.A. PASCUAL , C. SOLER, 2003 “Análise Comparativa de Métodos para a Determinação da Resistência ao Escorregamento” Cerâmica industrial, vol.8, n4, p.0, 2003

SILVA, Carlos Eduardo Sanches da et al. Método para avaliação do desempenho do processo de desenvolvimento de produtos. Tese de Doutor em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

TERJEK, Anita. Slipping properties of ceramic tiles/Quantification of slip resistance. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2013. p. 01 2017.

UENO, O. K. et al. Avaliação das Fontes de Incerteza do Processo de Medição do Coeficiente de Atrito Dinâmico em Pisos Cerâmicos Através do Equipamento Tortus. CEP, v. 88040, p. 970. 1999

WEN-RUEY Chang, Sylvie Leclercq, Thurmon E. Lockhart & Roger Haslam ,2016 “State of science: occupational slips, trips and falls on the same level”, Ergonomics, 59:7, 861-883.