



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO HUMANO
MESTRADO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO HUMANO

THÂMELA THAÍS SANTOS DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DA VALIDADE, APLICABILIDADE E CONFIABILIDADE DO
TESTE *TIMED-UP AND GO* INSTRUMENTADO POR SENSORES INERCIAIS DE
SMARTPHONES**

BELÉM – PA

2023

THÂMELA THAÍS SANTOS DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DA VALIDADE, APLICABILIDADE E CONFIABILIDADE DO
TESTE *TIMED-UP AND GO* INSTRUMENTADO POR SENSORES INERCIAIS DE
SMARTPHONES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano (PPGCMH) da Universidade Federal do Pará, Campus Universitário do Guamá, como requisito parcial para obtenção do título de mestre, sob orientação da Prof^a. Dr^a. Bianca Callegari.

BELÉM – PA

2023

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

S237a Santos, Thâmela Thaís Santos dos.
AVALIAÇÃO DA VALIDADE, APLICABILIDADE E
CONFIABILIDADE DO TESTE TIMED-UP AND GO
INSTRUMENTADO POR SENSORES INERCIAIS DE
SMARTPHONES / Thâmela Thaís Santos dos Santos. — 2023.
ix, 34 f. : il. color.

Orientador(a): Prof^ª. Dra. Bianca Callegari
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Ciências da Saúde, Programa de Pós-Graduação em
Ciências do Movimento Humano, Belém, 2023.

1. Fenômenos Biomecânicos. 2. Smartphone. 3.
Reprodutibilidade dos Testes. 4. Avaliação de Programas e
Instrumentos de Pesquisa. I. Título.

CDD 341.64098

THÂMELA THAÍS SANTOS DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DA VALIDADE, APLICABILIDADE E CONFIABILIDADE DO
TESTE *TIMED-UP AND GO* INSTRUMENTADO POR SENSORES INERCIAIS DE
SMARTPHONES**

Dissertação apresentada no Programa de Pós-Graduação em
Ciências do Movimento Humano, do Instituto de Ciências da
Saúde como requisito parcial para obtenção do título de mestre
em Ciências do Movimento Humano

Belém, 23 de junho de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Dra. Bianca Callegari – Orientadora
PPGCMH/UFPA

Dra. Natáli Valim Oliver Bento Torres
PPGCMH/UFPA

Dra. Ketlin Jaquelline Santana de Castro
FFTO/UFPA

RESUMO

O teste *Timed-up and go* (TUG) tem sido largamente utilizado por profissionais de saúde para a avaliação do risco de queda e mobilidade em função de sua aplicação prática. Atualmente, o desfecho do teste é avaliado pelo tempo de execução, no entanto dispositivos tecnológicos têm sido integrados a este a fim de obter informações adicionais para uma maior precisão do resultado. Nesse sentido, o uso de sensores inerciais em smartphone representa uma possibilidade acessível e de baixo custo a aplicação clínica. A partir disso, o presente estudo tem enquanto objetivo testar a validade, aplicabilidade e a confiabilidade das medidas inerciais obtidas por acelerômetro e giroscópio de smartphone durante a execução do teste TUG, assim como a replicabilidade dos dados obtidos em momentos distintos. Para isso foi realizada uma pesquisa quantitativa, de levantamento, com delineamento transversal e de caráter exploratório, por meio de três execuções do teste utilizando uma cinta com smartphone acoplado para a captação de dados dos sensores inerciais do aparelho com o aplicativo *Momentum Science App* e a mensuração da primeira execução com um relógio. A pesquisa foi realizada com 30 participantes, de ambos os sexos, com idade média de 26,96 anos ($\pm 1,5$), peso médio de 75,08 kg ($\pm 16,03$), altura média de 1,69 m ($\pm 0,099$) e IMC médio de 26,02 ($\pm 4,64$). A distribuição dos dados do teste foi avaliada através do teste de Kolmogorov-Smirnov. Para a validação, foram realizados o teste T, o teste de Correlação de Pearson e o teste de Bland-Altman. A diferença entre as médias da medida de duração total do teste realizada pelo relógio e pelo sensor do smartphone foi calculada em 0,46, o teste T demonstrou não haver diferença estatisticamente significativa entre os dados ($T=1,315$; $df=58$; $p= 0,19$; $\eta^2=0,029$). A correlação entre a medida obtida pelo relógio e o Smartphone foi significativa $r=0,93$ e o viés não foi significativo. Para comparar as medidas obtidas nas três repetições do teste TUG, foi realizado um teste de análise de variância (ANOVA de uma via e anova de medida repetidas) seguido pelo teste de Tukey para as amostras normais e o teste de Kruskal-Wallis foi aplicado seguido pelo teste de Dunn para amostras não-normais. Em todas as variáveis extraídas do TUG não houve diferença estatisticamente significativa nas três repetições. A confiabilidade das medições foi avaliada por meio do coeficiente de correlação intraclassa (ICC). Dentre as variáveis, 70% apresentou correlação entre moderada e excelente, uma apresentou correlação fraca e duas não obtiveram estatística significativa. Os valores da mínima mudança detectável variaram de 0,771 a 2,758. Dessa forma, os sensores inerciais de smartphone representam uma alternativa válida, aplicável e viável na avaliação do TUG.

Palavras-chave: Fenômenos Biomecânicos. Smartphone. Reprodutibilidade dos Testes. Avaliação de Programas e Instrumentos de Pesquisa.

ABSTRACT

The Timed-Up and Go (TUG) test has been widely used by healthcare professionals to assess the risk of falls and mobility due to its practical application. Currently, the outcome of the test is evaluated based on the execution time. However, technological devices have been integrated into the test to obtain additional information for greater accuracy of the results. In this regard, the use of inertial sensors in smartphones represents an accessible and cost-effective possibility for clinical application. Therefore, the objective of this present study is to test the validity, applicability, and reliability of inertial measurements obtained from the accelerometer and gyroscope of a smartphone during the execution of the TUG test, as well as the replicability of the data obtained at different times. A quantitative survey research with a cross-sectional and exploratory design was conducted. The TUG test was performed three times using a belt with an attached smartphone to capture data from the inertial sensors of the device using the Momentum Science App, and the timing of the first execution was measured with a stopwatch. The research was conducted with 30 participants of both sexes, with a mean age of 26,96 years ($\pm 1,5$), mean weight of 75,08 kg ($\pm 16,03$), mean height of 1,69 m ($\pm 0,099$), and mean BMI of 26,02 ($\pm 4,64$). The distribution of the test data was evaluated using the Kolmogorov-Smirnov test. For validation, the T-test, Pearson correlation test, and Bland-Altman test were performed. The difference between the means was calculated as 0.46. The T-test demonstrated that there was no statistically significant difference between the data ($T=1,315$; $df=58$; $p=0,19$; eta squares 0,029). The correlation between the measurement obtained by the stopwatch and the smartphone was significant ($r=0,93$), and the bias was not significant. To compare the measurements obtained in the three repetitions of the TUG test, an analysis of variance (ANOVA) test followed by the Tukey test for normal samples and the Kruskal-Wallis test followed by the Dunn test for non-normal samples were performed. There was no statistically significant difference in all variables extracted from the TUG test in the three repetitions. The reliability of the measurements was assessed using the intraclass correlation coefficient (ICC). Among the variables, 70% showed a correlation ranging from moderate to excellent, one showed weak correlation, and two did not have significant statistical values. The values of the minimum detectable change ranged from 0,771 to 2,758. Thus, the inertial sensors in smartphones represent a valid, applicable, and feasible alternative in the evaluation of the TUG test.

Keywords: Biomechanical Phenomena. Smartphone. Test Reproducibility. Evaluation of Research Programs and Tools.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Firura 1	Execução do teste <i>Timed-up and go</i>	12
Firura 2	Recurso construído para posicionamento do smartphone em coluna lombar	26
Firura 3	Sinais do Acelerômetro e Giroscópio durante a execução do teste TUG	30
Firura 4	Sinais do Acelerômetro e Giroscópio durante a execução do teste TUG em três sessões de um sujeito representativo.	33
Firura 5	Correlação de Pearson e Gráfico de Bland-Altman	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Estudos que utilizaram sensores inerciais de smartphones no teste <i>Timed-Up and Go</i> .	17
Tabela 2	Características demográficas dos participantes.	32
Tabela 3	Mediana, intervalo interquartil, p valor da análise de variância, ICC, p valor do ICC, SEM e MDC	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

TUG	<i>Timed-up and go</i>
GUG	Get up and go
CIF	Classificação Internacional de Funcionalidade e Incapacidade
AVE	Acidente Vascular Encefálico
PC	Paralisia Cerebral
CCL	Comprometimento Cognitivo Leve
Hz	Hertz
Grav	Unidades Gravitacionais
H0	Hipótese Nula
H1	Hipótese Alternativa
IMC	Índice de Massa Corporal
ICC	Coefficiente de Correlação Interclasse
SEM	Erro Padrão da Medida
MDC	Mudança Mínima Detectável

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
1.1	<i>Timed-up and go</i>	9
1.2	Inovações tecnológicas aplicadas ao teste.....	11
1.3	<i>Timed-up and go</i> instrumentado por sensores inerciais.....	13
2	JUSTIFICATIVA.....	21
3	HIPÓTESES.....	22
4	OBJETIVOS.....	23
5	MÉTODO.....	24
6	RESULTADOS.....	32
7	DISCUSSÃO.....	37
8	CONCLUSÃO.....	40
	REFERÊNCIAS.....	43
	APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.....	47
	APÊNDICE B – FICHA DE CARACTERIZAÇÃO.....	48

1 INTRODUÇÃO

1.1 *Timed-up and go*

O teste *Timed-up and go* (TUG) é uma avaliação da mobilidade baseada no teste Get up and go (GUG) publicado em 1986 (MATHIAS; NAYAK; ISAACS, 1986). O GUG é composto pelas tarefas de levantar, andar, girar para voltar, girar para sentar e sentar, avaliadas subjetivamente por meio da observação. Por outro lado, o TUG adiciona o uso do tempo para a avaliação das mesmas tarefas, tornando a abordagem menos subjetiva (SPRINT; COOK; WEEKS, 2015).

O TUG consiste em uma sequência de tarefas motoras, que incluem levantar-se de uma cadeira, deslocar-se por 3 metros em linha reta, realizar um giro em volta do próprio eixo, retornar pelo caminho de 3 metros, girar novamente e sentar-se onde o teste foi iniciado (PONCIANO *et al.*, 2020), como demonstrado da figura 1. Para a realização do teste, utiliza-se uma cadeira, um cronômetro e um objeto para auxiliar na delimitação do espaço da caminhada.

Figura 1. Execução do teste *Timed-up and go*



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

O TUG, ou *Timed-up and go*, tem sido amplamente utilizado por profissionais da área da saúde na avaliação da mobilidade de indivíduos. Este teste é considerado uma ferramenta rápida e simples para avaliar a mobilidade, mas é baseado na Classificação Internacional de

Incapacidade e Funcionalidade (CIF), que considera a marcha e as transferências como aspectos relevantes para o desempenho de atividades cotidianas (CHRISTOPHER *et al.*, 2019). Além de avaliar o risco de queda, o TUG é utilizado para avaliar a funcionalidade dos membros inferiores e a mobilidade geral (PONCIANO *et al.*, 2020). Portanto, o TUG é uma opção eficiente para avaliar aspectos relevantes da mobilidade de indivíduos, de forma rápida e prática, enquanto ainda utiliza uma abordagem baseada na CIF para garantir uma avaliação completa e precisa.

Para a interpretação do teste *Timed-up and go* (TUG) clinicamente, o único parâmetro utilizado é o tempo que o indivíduo leva para realizar o teste. Esse tempo é normalmente estabelecido próximo a 12 segundos, e um tempo superior a 15 segundos é um indicador de alto risco de quedas (PONCIANO *et al.*, 2020).

O TUG é amplamente utilizado na identificação do risco de queda em idosos e representa uma importante avaliação da funcionalidade, estando relacionado ao engajamento em atividades cotidianas. Isso se deve ao fato de que a instabilidade postural é uma das síndromes geriátricas que pode gerar diferentes desfechos negativos na saúde do indivíduo, incluindo quedas e fraturas, que impactam a mobilidade e podem levar ao óbito (MORAES *et al.*, 2019).

Com o passar do tempo, o TUG tem sido amplamente utilizado em diversos grupos populacionais. De fato, o teste é aplicado em indivíduos que sofreram Acidente Vascular Encefálico, bem como em pacientes com outras patologias neurológicas, como a Doença de Parkinson e a Esclerose Lateral Amiotrófica. Além disso, o TUG tem sido utilizado como uma ferramenta de avaliação da mobilidade em indivíduos com condições ortopédicas (GAUTSCHI *et al.*, 2017).

Com o aumento da aplicação do teste *Timed-up and go* em diferentes populações, surgiram questionamentos sobre sua capacidade de prever o desfecho de risco de queda em determinados grupos. (BROWNE; NAIR, 2018). Dentre as meta-análises realizadas, foi sugerido que o teste é mais confiável na avaliação de idosos com alguma deficiência em cuidados domiciliares (SCHOENE *et al.*, 2013; BARRY *et al.*, 2014). No entanto, uma revisão que sistematizou a validação e confiabilidade do teste em diferentes grupos populacionais encontrou excelentes níveis de confiabilidade teste-reteste em avaliações de sujeitos com Paralisia Cerebral, Acidente Vascular Cerebral, Doença de Huntington, Esclerose Múltipla e também em adultos típicos. Além disso, níveis considerados moderados a excelentes foram encontrados em crianças típicas e em indivíduos com doença de Parkinson. Esses achados destacam a importância de avaliar a aplicação do TUG em diferentes populações e reforçam

sua utilidade como uma ferramenta de avaliação da mobilidade e risco de queda (TYSON; CONNELL, 2009).

De acordo com o estudo mencionado, a validação clínica do teste TUG foi investigada em diversas populações, e os resultados indicaram forte correlação entre TUG e outras medidas clínicas em indivíduos com lesão medular e AVE (CHRISTOPHER *et al.*, 2019), tais como a Escala de Equilíbrio de Berg e o teste de caminhada cronometrada, além dos testes Dynamic Gait Index e Figura em oito. Já em crianças com PC, houve uma correlação moderada a forte entre TUG e os testes Five Time Sit To Stand, Escala De Berg e o Four Square Step Test. No entanto, em alguns casos, como em escalas específicas de doenças e em crianças típicas, as correlações com TUG foram fracas. Em indivíduos com doença de Parkinson e adultos típicos, os resultados variaram entre correlação fraca e forte (CHRISTOPHER *et al.*, 2019). Esses resultados indicam a ampla aplicabilidade do TUG em diferentes grupos de indivíduos com condições de saúde específicas.

Dentre as diversas formas de execução do teste TUG, destaca-se o teste TUG estendido, que amplia a distância da caminhada para 10 metros mantendo as etapas do teste padrão. Além disso, o uso de dispositivos tecnológicos tem sido crescente na avaliação do TUG, como é o caso do teste Smart Insole TUG, que utiliza um dispositivo inserido no solado interno do sapato para obtenção de dados em tempo real. Também pode-se citar o Teste TUG instrumentado, que utiliza sensores para captação de dados quantitativos. Estudos têm demonstrado a validade e confiabilidade dessas variações do teste TUG em diferentes populações, tais como indivíduos com Parkinson e lesão medular (GALÁN-MERCANT *et al.*, 2014; YANG *et al.*, 2017; HIGASHI *et al.*, 2008).

1.2 Inovações tecnológicas aplicadas ao teste

De fato, com os avanços tecnológicos, há uma crescente utilização de dispositivos eletrônicos na área da saúde para aprimorar os procedimentos clínicos e de pesquisa. Isso traz benefícios, uma vez que os dispositivos permitem uma avaliação mais objetiva do desempenho dos indivíduos e podem fornecer dados adicionais para análises complementares (SPRINT; COOK; WEEKS, 2015). Dessa forma, dispositivos tecnológicos vêm sendo incorporados ao TUG com o objetivo de aumentar a sensibilidade do teste em relação aos desfechos avaliados. Essa instrumentação pode proporcionar parâmetros adicionais além da duração do teste e, no futuro, possibilitar a automação do TUG, permitindo sua utilização em ambiente domiciliar. Essas inovações podem representar avanços significativos na área da avaliação funcional em

diferentes populações (SPRINT; COOK; WEEKS, 2015).

A cinematria por vídeo filmagem é um método clássico amplamente utilizado na avaliação do TUG, fornecendo parâmetros complementares ao longo do teste. Estudos recentes utilizaram 3 ou mais câmeras para capturar parâmetros específicos das várias tarefas incluídas no teste (BONNYAUD *et al.*, 2015; HASSANI *et al.*, 2015; ANSAI *et al.*, 2018). Alguns exemplos incluem diferenças na velocidade média do tronco na etapa de giro para sentar na fase final do teste entre idosos caídores e não caídores com Doença de Alzheimer e Comprometimento Cognitivo Leve (CCL) (ANSAI *et al.*, 2018), bem como o ângulo do tronco de indivíduos jovens em comparação com idosos com idade avançada (HASSANI *et al.*, 2015). Esses achados ressaltam a importância de medir parâmetros complementares para além do tempo de execução do teste. No entanto, a cinemática por vídeo filmagem ainda é um método restrito a laboratórios de biomecânica e a ambientes de pesquisa, sendo de alto custo, complexidade e demanda recursos humanos especializados.

Nas últimas décadas, diversos estudos têm buscado alternativas mais acessíveis para instrumentar o TUG. Entre elas, estão as que utilizam o sensor de ambiente da Microsoft Kinect (DUBOIS; BIHL; BRESCIANI, 2017; SAVOIE *et al.*, 2020; VAN KERSBERGEN *et al.*, 2021; SEIFALLAHI *et al.*, 2022). Tais recursos necessitam apenas de uma câmera com recurso de diferenciação de profundidade, comumente utilizada em jogos de videogame, e podem utilizar softwares ou algoritmos que medem e avaliam os dados extraídos. Van Kersbergen *et al.* (2021), por exemplo, identificou parâmetros como comprimento do passo, velocidade e oscilações no eixo médio lateral durante o TUG.

Outra alternativa é o uso de palmilhas equipadas com sensores, como demonstrado no estudo de Yang *et al.* (2019), em que os dados espaço-temporais foram extraídos em tempo real para um aplicativo de smartphone, com uma acurácia de 92,23% na segmentação das cinco etapas do *Timed-up and go*. Essas soluções apresentam vantagens em termos de acessibilidade e facilidade de uso, tornando-se uma opção mais prática e econômica para a avaliação do desempenho no TUG. Com base nestas literaturas científicas disponíveis, é possível afirmar que a questão dos custos é um fator determinante na adoção de tecnologias no campo da saúde, especialmente em países em desenvolvimento como o Brasil. Nesse sentido, é importante considerar que investimentos elevados em tecnologias podem não ser viáveis para muitas instituições, o que limita a disseminação desses recursos.

No entanto, é fundamental que as novas tecnologias sejam submetidas a testes de validação e confiabilidade, a fim de se identificar seu potencial diagnóstico e clínico. Embora haja um número crescente de estudos que avaliam o desempenho de dispositivos em diferentes

populações e caracterizam seu uso, muitos desses estudos ainda não validaram as tecnologias com algum padrão ouro como referência.

Diante disso, é necessário que os pesquisadores realizem mais estudos para avaliar a validade e a confiabilidade das tecnologias em saúde, utilizando métodos rigorosos para compará-las com padrões ouro estabelecidos. Somente dessa forma será possível garantir que as novas tecnologias sejam de fato eficazes e confiáveis para serem utilizadas na prática clínica e de pesquisa, contribuindo para o avanço da medicina e a melhoria da qualidade de vida dos pacientes.

1.3 *Timed-up and go* Instrumentado por Sensores Inerciais

Dentre as propostas de inovação em tecnologias de avaliação em saúde, destaca-se o uso de sensores inerciais em dispositivos móveis, que pode ser realizado por meio de dispositivos próprios de medidas inerciais ou presentes em dispositivos de uso pessoal, como smartphone e smartwatch (YAHALOM *et al.*, 2019). Com o uso de sensores inerciais, é possível adquirir dados como a velocidade angular e a aceleração linear durante o teste TUG, permitindo a divisão das fases e a extração de vários outros parâmetros (PONCIANO *et al.*, 2020).

Atualmente, acelerômetro e giroscópio são os sensores mais utilizados para instrumentalizar o teste TUG padrão e os parâmetros mais investigados incluem a duração do teste, a média dos ângulos articulares, a mudança máxima do ângulo do tronco, o número de passos, o limiar e o tempo total de contato do pé com o solo, de acordo com a revisão sistemática realizada por Ponciano *et al.* (2020).

A validação de um sensor de medida inercial com a cinemetria foi realizada no estudo de Kleiner *et al.* (2018) com indivíduos com Doença de Parkinson. Neste estudo, o dispositivo foi testado e comparado com a cinemetria e o cronômetro, obtendo enquanto resultados uma excelente confiabilidade e precisão na quantificação do tempo de duração do teste, indicando que as medidas obtidas pelos sensores inerciais podem ser uma alternativa na avaliação da mobilidade e equilíbrio.

Os smartphones, por exemplo, possuem sensores inerciais embutidos com a função de identificar a movimentação do aparelho para a interação deste com aplicativos. Esses dados podem ser utilizados para a avaliação em saúde, em particular para o teste TUG, que é objeto de estudo de diferentes pesquisadores, conforme listado na Tabela 1.

Vale destacar que o uso de smartphones para avaliação em saúde é vantajoso, pois esses

aparelhos são populares e de uso cotidiano, não havendo a necessidade de aquisição de equipamentos específicos. No entanto, é importante validar e avaliar a confiabilidade dessas tecnologias, a fim de identificar seu potencial diagnóstico (PONCIANO *et al.*, 2020).

Tabela 1. Estudos que utilizaram sensores inerciais de smartphones no teste *Timed-up and go*.

(continua)

Autor (ano)	Smartphone/ Posicionamento	TUG	Sensores incluídos	Teste de Validação com o padrão ouro e Confiabilidade	Objetivo	Variáveis estudadas	População	Principais resultados
Silva e Sousa (2016)	Não especificado/ Bolso ou cintura ou perna	TUG de 30 segundos	Acelerômetro e giroscópio	Não	Segmentar as etapas e extrair dados	CMC, IQR, RMS, D., energia, entropia, DP, V.M., DM, assimetria, curtose, VMax, Vmin, MinAvg, MaxAvg, AvgPeak, FFT Max Amp, FFT 2nd Max, FFT Max Freq, FFT 2nd Max Freq, FFT Amp scale, FFT Amp dif.	Idosos da comunidade	No grupo com maior risco de quedas: Velocidade menor e maior impacto dos pés. Energia e entropia maior no giro.
Mellone, Tacconi e Chiari (2012)	Android 2.1/ Lombar	TUG estendido (7m)	Acelerômetro	Apenas confiabilidade	Avaliar a validade de um smartphone no ITUG	D., Tempo de subida, impulso de subida, amplitude de subida, MTP, DPTP, ACORR ML, ACORR AP.	Sem critério	Valor médio e o desvio padrão, a duração total e a duração do StS aceitável. AP e ML ACORR com concordância estatística pode ser aceitável. Confiabilidade entre razoável e excelente.
Coni <i>et al.</i> (2015)	Samsung galaxy, Android/ Cintura	TUG	Acelerômetro e giroscópio	Não	Classificar os domínios de um TUG instrumentado e investigar a declínio funcional associado ao envelhecimento	Condicionamento físico global, habilidade de virar, suavidade sentar-para- caminhar, dinâmica do tronco AP durante as transições posturais, mudança de peso ML durante as transições posturais, suavidade virar- para-sentar	Idosos	Correlações entre idade e “Condicionamento físico global”, “Habilidade de virar” e “Dinâmica do tronco AP durante as transições posturais”.

Tabela 1. Estudos que utilizaram sensores inerciais de smartphones no teste *Timed-up and go*.

	Galán-mercant e Cuesta-Vargas (2015)	iPhone 4, IOS/ Terço médio do esterno	Tug estendido (10 m)	Acelerômetro, giroscópio e magnetômetro	Não	Determinar variáveis cinemáticas que mostram o maior nível de precisão na discriminação entre dois grupos de idosos (frágeis e não frágeis)	D., marcha de ida, sentar-levantar, girar, marcha de volta e girar para sentar.	Idosos frágeis e não-frágeis	Variáveis de aceleração apresentam maior sensibilidade em termos de discriminação entre os grupos populacionais do estudo.
Milosevic <i>et al.</i> (2013)	Nexus 4, Android/ Peitoral	TUG	Acelerômetro, giroscópio e magnetômetro	Não	Descrever os parâmetros usados para quantificar o teste iTUG e algoritmos para extrair os parâmetros dos sinais captados pelos sensores do smartphone.	D., Tempo de subida, D. da fase de inclinação para frente na transição sentar-levantar, D. da fase de elevação na transição sentar-levantar, Mudança máxima do ângulo do tronco na fase de inclinação para a frente, V. angular máxima durante a fase de elevação, D. da transição de pé para sentado, D. da fase de preparação para sentar na transição de pé para sentar, D. da fase de sentar na transição de levantar para sentar	Parkinson e saudáveis	Os indivíduos saudáveis tiveram notavelmente maior velocidade angular máxima durante a fase de levantar e menor tempo.	

(continuação)

Tabela 1. Estudos que utilizaram sensores inerciais de smartphones no teste *Timed-up and go*.

	Galán-Mercant e Cuesta-Vargas (2014)	Galán-Mercant <i>et al.</i> (2014)	Palmerini <i>et al.</i> (2011)
Dispositivo	iPhone 4, IOS/Esterno	iPhone 4, IOS/ Terço médio do esterno	Android/ Lombar
Instrumentos	Acelerômetro, giroscópio e magnetômetro	Acelerômetro e giroscópio	Acelerômetro
Medida	TUG estendido (10 m)	TUG estendido (10 m)	TUG estendido (7 m)
Objetivo	Medir e descrever a magnitude da aceleração, velocidade angular e deslocamento do tronco para analisar as performances e diferenças entre os grupos de estudo (frágeis e não frágeis)	Avaliar a confiabilidade e a validade de critério concorrente	Obter os recursos que são mais sensível ao desempenho locomotor
População	Não	Apenas confiabilidade	Não
Intervenção			
Resultados	Pico máximo, pico mínimo, média e DPs da velocidade angular nos três eixos de movimento (x, y e z). A maior diferença entre os grupos no Sit-to-Stand e as subfases Stand-to-Sit estavam no eixo y. Nas subfases Gait Go e Gait Come a maior diferenças encontradas entre os grupos foram na vertical.	Picos máximos e mínimos, para AP, ML, V e AM.	D., RMS AP, impulso AP, impulso ML, preparatório RMS AP, MTP, DPTP, índice de coordenação de fase, média da fase, média NJS AP, CV de NJS ML, Valor máximo de aceleração.
Limitações	Idosos frágeis e não-frágeis	Idosos saudáveis (5)	Indivíduos saudáveis
Conclusões		Houve uma forte correlação entre os dados do smartphone e do sensor de mercado e bons níveis de reprodutibilidade	Outliers representam maior risco de queda e conjunto reduzido de parâmetros originais que poderia ser usado como um primeiro passo para a seleção de características destinadas na classificação entre duas populações diferentes de indivíduos

(continuação)

Tabela 1. Estudos que utilizaram sensores inerciais de smartphones no teste *Timed-up and go*.

Mérchan- Baeza, González- Sanchez e Cuesta- Vargas	IOS (Iphone 5s)/ não especificado	TUG	Acelerômetro, giroscópio e magnetômetro	Apenas confiabilidade	Coletar dados quantitativos sobre o funcionamento dos membros inferiores durante a execução dos testes TUG e sit to stand de pessoas na fase aguda do AVC	D., D. entre as 5 etapas, diferença na posição do tronco (°), deslocamento angular (°), velocidade angular (°/s).	Idosos	A presença de mecanismos compensatórios ao levantar ou sentar em uma cadeira e também e redução na velocidade de caminhada
Yahalom <i>et al.</i> (2020)	IOS (Iphone 5s)/ Esterno	TUG	Giroscópio	Não	Caracterizar parkinsonianos e o desempenho da marcha de pacientes psiquiátricos em uso de neurolépticos e compará-los com a doença de Parkinson e controles saudáveis.	D., tempo de subida, tempo de caminhada em linha reta, tempo de giro, tempo de descida, cadência, comprimento do passo, correlação entre passos AP, balanço ML, correlação entre passos ML.	Pacientes psiquiátricos e pacientes com Doença de Parkinson	Sujeitos PPN foram significativamente mais lentos do que CS., também apresentaram menor Cadência, menor comprimento do passo menor correlação de grau na direção AP. Da mesma forma, o desempenho da marcha foi pior comparando DP com CS
Guzmán, Silva e Guzmán- Venegas (2017)	IOS (Iphone 4)/ Lombar	TUG	Acelerômetro e giroscópio	Apenas confiabilidade	Avaliar a reprodutibilidade dos tempos decorridos entre o início e o fim das sub etapas do teste TUG	Tempo de subida, Tempo de caminhada, tempo de giro, tempo de descida e D.	Idosos da comunidade	Os registros com melhor reprodutibilidade foram os tempos de marcha e o tempo total do TUG. Por outro lado, o registro com menor reprodutibilidade foi o tempo de giro.
Ishikawa <i>et al.</i> (2019)	IOS (Iphone) / Abdômen	TUG	Acelerômetro e giroscópio	Não	Avaliar a utilidade de medir os tempos de 6 componentes do TUG	Tempo de ida, tempo de volta, tempo de subida, tempo do 1º giro, tempo do 2º giro, tempo de subida e tempo de descida.	Idosos ativos e pacientes com hidrocefalia de pressão normal	Andar, Voltar, Virar2 e Sentar apresentaram melhora no grupo HPN após a cirurgia

(continuação)

Tabela 1. Estudos que utilizaram sensores inerciais de smartphones no teste *Timed-up and go*.

(conclusão)

Bergquist et al. (2020)	Android (Huawei P8) / Lombar	TUG	Acelerômetro e giroscópio	Não	Avaliar quão bem as características médias dos sensores inerciais poderiam prever o escore total da CBMS	V. média na primeira volta, D. caminhada, V. média Tst, D., Número total de etapas, Velocidade de pico Tts, Velocidade de pico na primeira curva, Comprimento médio do passo, Duração do giro VS, Duração do turno, Velocidade da marcha, Número de passos na primeira volta, PJAN primeiro turno, RMS acc. caminhada V, PJAN VS, RMS acc. AP de caminhada, Velocidade angular RMS caminhando, Faixa de velocidade angular caminhando, Duração Tts, Pontuação de Jerk caminhando AP, Duração SC, Regularidade do passo Ver., Pontuação Jerk andando Ver	Idosos atendidos em um ambulatório e idosos saudáveis	O modelo PLSR dos recursos do iTUG previu a pontuação CBMS com um nível substancial de precisão preditiva
-------------------------	------------------------------	-----	---------------------------	-----	--	---	---	---

Legenda: CMC: contagem média de cruzamentos do sinal de magnitude no valor médio; IQR: intervalo interquartil; RMS: raiz quadrada média; D: Duração; E: Energia; En: Entropia; DP: Desvio Padrão; VM: Valor médio; DM: Desvio mediano; A: Assimetria; C: Curtose; VMax: Valor máximo; VMin: Valor mínimo; Minavg: Valor médio do valor mínimo; Maxavg: Valor médio do valor máximo; AvgPeak: Diferença entre Minavg e Maxavg; FFT max amp: Amplitude máxima; FFT 2nd Max: Segunda amplitude máxima; FFT Max freq.: Frequência máxima; FFT 2nd Max freq.: Segunda frequência máxima; FFT amp dif: Frequência de amplitude; MTP: Média do tempo do passo; DPTP: Desvio padrão do tempo do passo; T.L.: Tempo para levantar; T.R.: Tempo de rotação; ACCORR: coeficiente de autocorrelação entre passadas; NJS: escore de impulso normalizado; CV: Coeficiente de variação; CS: Controle saudável; PPN: Paciente psiquiátricos em uso de neurolépticos; DP: Doença de Parkinson; HPN: Hidrocefalia de pressão normal; CBMS: Escala Comunitária de Equilíbrio e Mobilidade; PLSR: regressão de mínimos quadrados parciais; V: velocidade; VS: Virar para sentar; PJAN: Pontuação de Jerk Angular Normalizada; Ver.: Vertical; SC: Sentar para caminhar.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Como vemos na tabela 1, a maioria dos estudos realizados sobre o uso de sensores inerciais em smartphones para a avaliação do TUG, foram direcionados à caracterização das etapas do teste em diferentes populações e formas de aplicação, incluindo a versão estendida com 7 e 10 metros (PONCIANO *et al.*, 2020). Esses estudos, em sua maioria, utilizaram o acelerômetro dos smartphones em conjunto com o giroscópio para aquisição dos dados (YAHALOM *et al.*, 2019). Para garantir a execução confiável do TUG com o smartphone, é necessário fixar o aparelho ao corpo do avaliado de forma adequada, preferencialmente na direção das vértebras lombares ou do osso esterno, com o auxílio de uma faixa de fixação (SPRINT; COOK; WEEKS, 2015; MILOSEVIC *et al.*, 2013).

Apesar dos diversos estudos demonstrarem a aplicabilidade do uso de sensores inerciais em smartphones na execução do TUG, percebe-se que a validação com o padrão ouro e estudos de confiabilidade são escassos. Galán-Mercante *et al.* (2014) estudaram a confiabilidade dos dados do acelerômetro do smartphone em indivíduos saudáveis. Os resultados indicaram altos níveis tanto de confiabilidade quanto de validade do instrumento quando comparado a um sensor comercialmente disponível. Os autores confirmaram a possibilidade de substituição dos dispositivos comerciais por smartphones (Galán-Mercante *et al.*, 2014). Apesar disso, esse estudo possui limitações, a confiabilidade foi testada em apenas 5 sujeitos, idosos, em uma versão estendida do teste. De fato, não se encontra na literatura um estudo mais abrangente da replicabilidade dos sinais em uma população saudável com maior amostragem.

Um estudo similar de Mellone, Tacconi e Chiari (2012) também utilizou um smartphone Android para testar a validade do dispositivo em relação a um dispositivo específico para análise do movimento durante a execução do TUG em indivíduos sem critérios de inclusão. Os resultados mostraram uma excelente confiabilidade inter e intra examinador entre os dispositivos, o que sugere a viabilidade da utilização de smartphones na avaliação do TUG em relação aos dispositivos específicos para essa finalidade. Outros dois estudos também testaram e confirmaram a confiabilidade (GUZMÁN; SILVA; GUZMÁN-VENEGAS, 2017; MERCHÁN-BAEZA; GONZÁLEZ-SANCHES; CUESTA-VARGAS *et al.*, 2018), no entanto utilizaram apenas parâmetros temporais.

Assim, a utilização de sensores inerciais presentes em smartphones na avaliação do desempenho no TUG foi amplamente estudada em diferentes populações. Milosevic *et al.* (2013) compararam indivíduos com Doença de Parkinson e indivíduos saudáveis, enquanto Coni *et al.* (2015), Galán-Mercant e Cuesta Vargas (2015), Galán-Mercant *et al.* (2014) e Merchán-Baeza, González-Sanches e Cuesta-Vargas (2018) avaliaram idosos. Também foram realizados estudos com indivíduos saudáveis. Uma das vantagens dos sensores inerciais é a

ampliação dos parâmetros de desempenho avaliados. Milosevic *et al.* (2013) incluíram duração das etapas, mudança máxima no ângulo do tronco e velocidade angular máxima nas transferências durante a execução do teste. Mérgan-Baeza, González-Sanches e Cuesta-Vargas (2018) calcularam deslocamento angular e aceleração angular, permitindo uma avaliação mais específica em diferentes públicos. Uma limitação importante é a variação nos parâmetros em função do posicionamento do smartphone no corpo do avaliado e a falta de validação com o padrão ouro. Por outro lado, a possibilidade de autoaplicação, como demonstrado no estudo de Milosevic *et al.* (2013), apesar da sua limitação em públicos específicos como pessoas com condições neurológicas e idosos com fragilidade, é uma vantagem. No entanto, a confiabilidade da avaliação ainda é uma questão a ser abordada, com apenas quatro estudos, sendo um de Galán-Mercant *et al.* (2014) testando a confiabilidade teste-reteste em idosos e outro, Mellone, Tacconi e Chiari (2012), utilizando apenas o sensor acelerômetro em indivíduos saudáveis. Assim como outros dois (GUZMÁN; SILVA; GUZMÁN-VENEGAS, 2017; MERCHÁN-BAEZA; GONZÁLEZ-SANCHES; CUESTA-VARGAS *et al.*, 2018) que também encontraram bons valores de confiabilidade, no entanto ambos realizaram o estudo com o público idoso e obtiveram apenas variáveis temporais. Apesar de já terem sido realizados estudos acerca da confiabilidade e validade dos sensores inerciais de smartphones, identifica-se a necessidade de um estudo que utilize ambos os sensores, com um quantitativo razoável de participantes, que utilize algum tipo de rotina ou algoritmo para a segmentação automática das fases e que realize algum tipo de validação para posteriormente testar a confiabilidade entre as medidas.

Diante das potencialidades oferecidas pelo uso de sensores inerciais de smartphones para avaliar o desempenho no teste TUG, bem como da lacuna existente em relação à validação e confiabilidade dessa metodologia, propõe-se neste estudo avaliar a validade, aplicabilidade e confiabilidade de sensores inerciais de smartphone na avaliação do referido teste. Com base nesse objetivo, espera-se contribuir para o desenvolvimento de intervenções mais específicas e eficazes, a fim de aprimorar a avaliação e o tratamento de diversas populações, incluindo idosos e indivíduos com doenças neurológicas, como a doença de Parkinson.

2 JUSTIFICATIVA

Considerando que o equilíbrio e a manutenção da mobilidade são aspectos cruciais para a funcionalidade dos indivíduos e a qualidade de vida da população, é fundamental que métodos confiáveis e viáveis sejam utilizados para avaliar esses aspectos e identificar o risco de quedas. O desenvolvimento de ferramentas de baixo custo e acessíveis para avaliar esse risco utilizando variáveis relacionadas ao movimento é essencial para melhorar a saúde e o bem-estar dos indivíduos. Portanto, este estudo tem como objetivo desenvolver uma ferramenta acessível e de baixo custo para avaliação do risco de queda, por meio do uso de sensores inerciais de smartphones e análise da confiabilidade e validade da ferramenta para potencial uso clínico ou de autocuidado. A análise de métricas do TUG e o teste de confiabilidade são fundamentais para a utilização dessa ferramenta em larga escala e para avaliar o risco de queda em idosos e outras populações vulneráveis.

Em suma, este estudo se justifica pelo fato de apresentar a aplicabilidade do uso de sensores inerciais de smartphone (acelerômetro e giroscópio) na obtenção dos dados dos sensores de forma off-line, assim como o processamento e análise desses sinais de forma automática para a segmentação das fases do teste e no cálculo de variáveis adicionais, além de testar a validade do tempo total do teste com o padrão ouro, o relógio, assim como testar a confiabilidade das variáveis obtidas em diferentes momentos. Com isso, espera-se contribuir para a melhoria da qualidade de vida dos indivíduos e a redução dos custos associados ao tratamento de quedas e suas consequências.

3 HIPÓTESES

H0: O uso de sensores inerciais de smartphones não são instrumentos válidos, aplicáveis e confiáveis na avaliação do teste *Timed-up and go*.

H1: Os sensores inerciais de smartphones são ferramentas válidas, aplicáveis e confiáveis na avaliação do teste *Timed-up and go*.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo geral:

- Avaliar a validade, a aplicabilidade e a confiabilidade de sensores inerciais de smartphone na avaliação do *Timed-up and go*

4.2 Objetivos específicos:

- Validar a duração total do teste obtida pelos sensores do smartphone com o cronômetro de um relógio;
- Analisar as medidas inerciais obtidas pelo smartphone durante a execução do teste *Timed-up and go*, a fim de identificar possíveis desvios e inconsistências;
- Comparar os dados obtidos pelos sensores do smartphone em diferentes execuções do teste *Timed-up and go*, avaliando a estabilidade e a reprodutibilidade das medidas inerciais;
- Avaliar a relação entre as medidas inerciais do Smartphone e as medidas convencionais buscando verificar a validade concorrente do aplicativo.

5 MÉTODO

5.1 Caracterização do estudo

Trata-se de um estudo transversal, de abordagem quantitativa, por meio de pesquisa de levantamento, projetada para verificar a confiabilidade teste reteste da avaliação do teste *Timed-up and go* (TUG) baseada em sinais inerciais obtidos por sensores de smartphone.

5.2 Participantes

Participaram do estudo 30 indivíduos, de ambos os sexos, selecionados por conveniência. Adotou-se enquanto critério de inclusão a faixa etária, devendo o participante ser adulto jovem (i.e. entre 20 e 40 anos).

Enquanto critérios de exclusão, utilizou-se histórico de cirurgias ortopédicas e distúrbios musculoesqueléticos de qualquer membro que possa ser agravado pelos procedimentos do teste.

5.3 Procedimento de coleta de dados

5.3.1 Anamnese

Todos os participantes preencheram uma ficha com as informações de idade, peso, altura e sexo. Além disso, informaram se houve algum episódio de queda no último mês (APÊNDICE B).

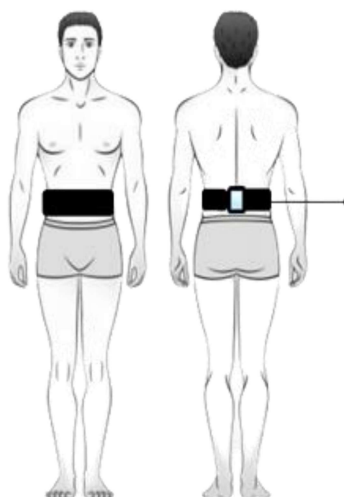
5.3.2 Instrumentação

Para a obtenção dos registros inerciais durante a realização do teste TUG, foi anexado ao participante um Smartphone (Xiaomi Redmi Note 8 158.3 x 75.3 x 8.4 mm). Um aplicativo denominado *Momentum Science App* desenvolvido para rodar em sistema operacional Android foi instalado no Smartphone para a leitura e salvamento de sinais inerciais registrados por um acelerômetro triaxial (modelo BOSCH, versão: 50528789, amplitude: 78.45320129394531, resolução: 0.0023928226437419653) e um giroscópio triaxial (modelo BOSCH, versão: 50528789, amplitude: 34.90555725097656, resolução: 0.0010652330238372087) embutidos no Smartphone. A taxa de aquisição média dos sensores foi de 50 Hz. O aplicativo *Momentum Science App* foi validado para diferentes protocolos de avaliação de movimento (DUARTE et al., 2022; DA COSTA MORAES et al., 2022; RODRIGUES et al., 2022; SANTOS et al.,

2022) e está disponível na Play Store¹.

O aparelho foi preso ao corpo do participante por uma cinta especialmente desenvolvida para isso, sendo posicionado na coluna lombar ao nível das vértebras L3-L5 (Figura 2).

Figura 2. Recurso construído para posicionamento do smartphone em coluna lombar.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

5.3.3 Procedimentos

Os sujeitos realizaram o teste TUG três vezes, com um intervalo de 5 minutos entre cada teste. O primeiro teste foi medido simultaneamente pelo aplicativo e registrado com o cronômetro do relógio *Smartwatch* (Modelo IWO W27, marca Watch 7 Pro, China) a fim de comparar os dados relacionados a duração do teste.

Eles foram instruídos oralmente a não usar os braços para levantar ou sentar. Vários estudos exploraram este teste usando cadeiras sem braços (HIGASHI *et al.*, 2008; GALÁN-MERCAN *et al.*, 2014). Esta escolha poderia reduzir a variabilidade entre sucessivas tentativas, eliminando a opção de usar ou não os braços nas fases de levantar e sentar.

As instruções foram padronizadas a fim de facilitar a compreensão e minimizar o risco de interpretações equivocadas. Além disso, o percurso do teste foi marcado por uma fita crepe, assim como o final dos três metros.

O protocolo seguiu o padrão abaixo:

¹Disponível no endereço eletrônico:

https://play.google.com/store/apps/details?id=com.beetsoftware.momentum_science

- 1) O sujeito sentou com as costas em contato com o encosto da cadeira
- 2) Foi dado início na coleta pelo aplicativo *Momentum Science App* com um toque na tela, e o participante permaneceu sentado por 5 segundos até que o experimentador forneceu o sinal de ir para o participante;
- 3) Após o sinal de ir do pesquisador, o sujeito se levantou e caminhou por três metros em linha reta;
- 4) Após alcançar a distância de 3 metros, o participante girou em torno de uma marca de fita larga;
- 5) O sujeito caminhou de volta para a cadeira;
- 6) O sujeito girou novamente para sentar na cadeira;
- 7) Após sentado, foi contado um tempo de 5 segundos para ser realizada a finalização da coleta.

5.4 Análise dos dados

5.4.1 Processamento dos dados

O aplicativo *Momentum Science App* exportou os registros acelerométricos e giroscópicos em arquivos de texto que foram importados e analisados em rotinas programacionais escritas em linguagem MATLAB WORKS R2015a.

Foi realizado um procedimento de exclusão de tendências lineares nas séries temporais inerciais usando a função *detrend*. Os sinais acelerométricos foram divididos por 9.81 para que sejam apresentados em unidades gravitacionais.

Em seguida, foi achado o vetor resultante dos sinais acelerométrico e giroscópico de acordo com a Equação 1.

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \text{ (Equação 1)}$$

onde r é o vetor resultante, x , y e z são os vetores de aceleração ou velocidade angular nos eixos médio-lateral, vertical e anteroposterior, respectivamente.

Foi realizado um procedimento de interpolação linear dos vetores resultantes para adquirirem uma taxa de amostragem de 100 Hz. O sinal interpolado foi filtrado por uma filtragem bidirecional usando um filtro Butterworth de segunda ordem de 5 Hz.

5.4.2 Análise dos sinais inerciais obtidos durante o teste TUG

Para a identificação de parâmetros temporais e amplitude de ondas dos sinais inerciais, foram realizados os seguintes procedimentos:

- a) Identificação do início do teste: Para identificar o início do teste, é avaliado o sinal do giroscópio como previamente descrito na literatura (NETUKOVA *et al.*, 2021). Neste sinal é avaliado uma linha de base de 5 segundos e é considerado o início do teste no momento que o sinal do giroscópio for superior à média da linha de base mais duas vezes o desvio-padrão dessa linha de base (momento A na Figura 3).
- b) Identificação do final do teste: Para a identificação do final do teste também foi usado o sinal do giroscópio. Neste caso, o sinal foi lido do final para o início e será identificado o momento no qual o sinal do giroscópio apresentou um valor superior à média mais dois desvios-padrões da linha de base de 5 segundos finais do registro (momento C na Figura 3).
- c) Identificação dos dois momentos de giros corporais durante o teste, correspondentes aos dois maiores picos de onda no registro do giroscópio. Durante o teste TUG há dois momentos de giros do corpo (Turn1 peak e Turn2 peak). O primeiro momento (Turn1 peak) corresponde à transição entre o final da ida e o início do retorno no trajeto de 3 m (momento B na Figura 3). O segundo momento de giro (Turn2 peak) ocorre quando o participante finaliza o retorno à cadeira e gira para sentar.
- d) Identificação do momento que o participante fica em pé. Para a identificação deste evento é buscado o maior sinal acelerométrico (Sit-St peak) entre o tempo de início do teste (momento A na Figura 3) e o momento do primeiro giro (momento B na Figura 3).
- e) Identificação do momento que o sujeito senta de volta à cadeira. Para a identificação deste evento é buscado o maior sinal acelerométrico (St-Sit peak) entre o momento do segundo giro e o final do teste (momento C na Figura 3).

A partir destes marcadores temporais foram calculadas 11 variáveis de interesse como segue:

- i. Duração total do teste ou Total Duration (TD) em segundos (s): Tempo decorrido do início ao fim do teste (entre os momentos A e C da Figura 3).
- ii. Tempo de ida ou Time to go (Go time) em segundos (s): Tempo decorrido entre o momento do Sit-St peak e o momento do primeiro giro (momento B na Figura 3).
- iii. Tempo de volta ou Time to return (Return time) em segundos (s): Tempo decorrido entre o momento do primeiro giro (momento B na Figura 3) e o momento do segundo giro (Turn2).

iv. Tempo de subida ou Time Sit to Stand (Sit-St time) em segundos (s): Tempo decorrido entre o início do teste (A) e o momento do Sit-St peak.

v. Tempo de descida ou Time Stand to Sit (St-Sit time) em segundos (s): Tempo decorrido entre o momento do St-Sit peak e o fim do teste (momento C da Figura 3).

vi. Pico de Subida ou Peak Sit-St (Sit-St peak) em unidades gravitacionais (g): Esse parâmetro é representado pelo valor de Sit-St peak.

vii. Pico de Descida ou Peak St-Sit (St- Sit peak) em unidades gravitacionais (g): Esse parâmetro é representado pelo valor de St-Sit peak.

viii. Pico Giro 1 ou Peak first turn (Turn1 peak) em radianos/segundos (rad/s): Esse parâmetro corresponde ao valor de Turn1 peak.

ix. Pico Giro 2 ou Peak second turn (Turn2 peak) em radianos/segundos (rad/s): Esse parâmetro corresponde ao valor de Turn2 peak.

x. Impulso de subida ou Jerk Sit to Stand (Sit-St jerk) em unidades gravitacionais/segundos (g/s): Esse parâmetro é calculado pela razão entre o Sit-St peak e Sit-St time e representa a taxa de variação da aceleração em função do tempo durante o levantamento do participante da cadeira.

xi. Impulso de descida ou Jerk Stand to Sit (St-Sit jerk) em unidades gravitacionais/segundos (g/s): Esse parâmetro é calculado pela razão entre o St-Sit peak e St-Sit time e representa a taxa de variação da aceleração em função do tempo durante a descida do participante de volta à cadeira.

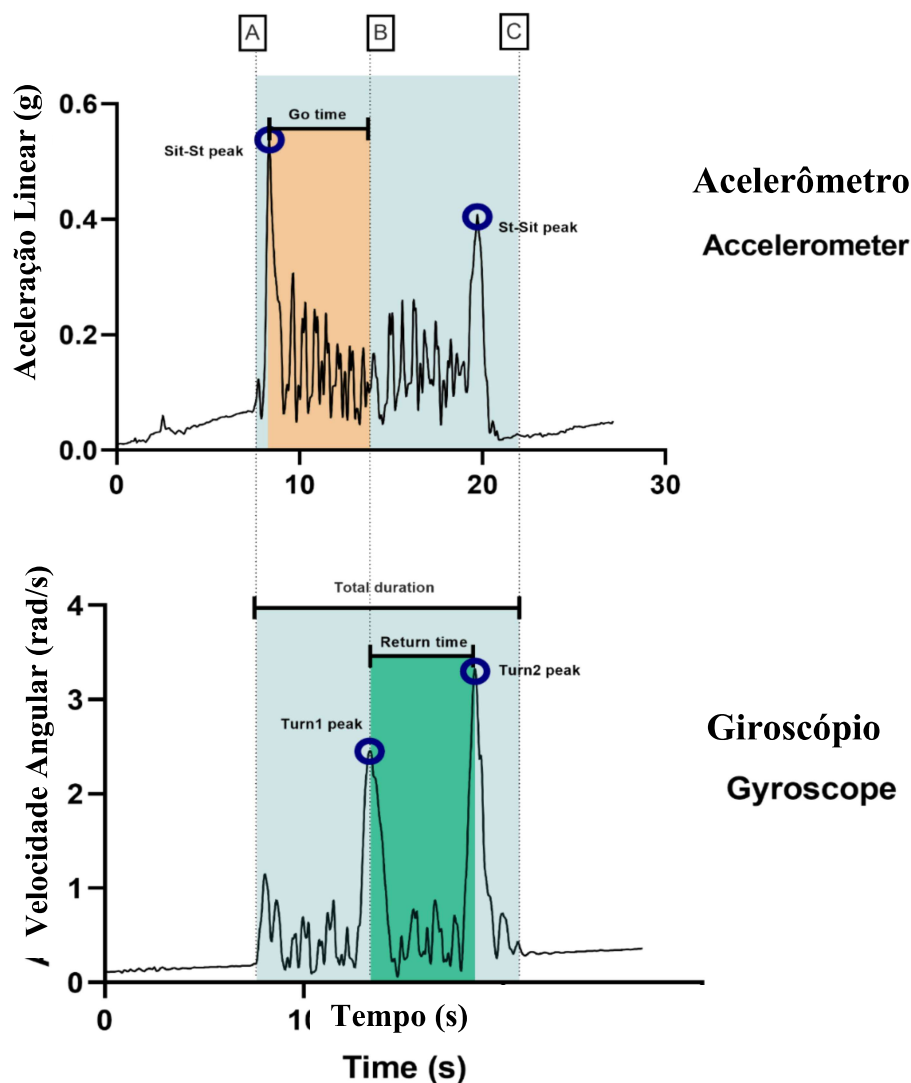
Todos os procedimentos foram feitos de forma automatizada pela rotina de análise e foi realizada uma inspeção visual pelos pesquisadores para a detecção de erros de identificação dos eventos. No caso de erro de identificação dos eventos, foi realizada uma identificação manual por pesquisadores treinados.

5.4.3 Análise estatística

Os procedimentos estatísticos foram conduzidos no software GraphPad Prism 9. A distribuição dos dados foi avaliada através do teste de Kolmogorov-Smirnov. Enquanto algumas variáveis apresentaram distribuição normal (Pico subida, Pico giro 1, Pico giro 2 e Imp subida), outras não seguiram essa distribuição (Duração, Tsubida, Tida, Tvolta, Tdescida, Pico descida e Imp descida). No entanto, a fim de garantir a padronização dos dados, estes foram descritos por meio da mediana e intervalo interquartil.

Figura 3. Sinais do Acelerômetro e Giroscópio durante a execução do teste TUG.

Faixa azul: Duração total do teste. Faixa laranja: Tempo de ida. Faixa verde: Tempo de volta.



Faixa azul: Duração total do teste. Faixa laranja: Tempo de ida. Faixa verde: Tempo de volta.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Os dados referentes à primeira execução do teste e o tempo cronometrado pelo relógio apresentaram distribuição normal. Para o processo de validação foi realizado um Teste T não emparelhado, seguido de uma Correlação de Pearson para a mensuração da correlação linear, interpretada com os limiares de magnitude 0,3-0,5: moderada; 0,5-0,7: alta e 0,7-0,9: quase perfeita (ABBOTT *et al.*, 2020). Por fim, realizou-se um teste de Bland-Altman para calcular o viés e os limites de concordância de 95%, sendo considerado um viés não significativo

quando um viés igual a zero for encontrado dentro do intervalo de confiança (JENSEN *et al.*, 2008).

Para comparar as medidas obtidas nas três repetições do teste TUG, foi realizado um teste de análise de variância (ANOVA de uma via e ANOVA de medidas repetidas) seguido pelo teste de Tukey para comparações múltiplas nas variáveis normais. Já para as variáveis não-normais, o teste de Kruskal-Wallis foi aplicado seguido pelo teste de Dunn para comparações múltiplas.

A confiabilidade entre as medições foi avaliada por meio do coeficiente de correlação intraclasse (ICC), estes foram interpretados de acordo com valores de referência, onde o $ICC \geq 0,75$ indica correlação excelente, $0,74 \geq ICC \geq 0,4$ indica razoável a alta correlação, e $ICC \leq 0,39$ indica correlação ruim (SHROUT; FLEISS, 1979; AL-AMRI *et al.*, 2018). Além disso foram calculados o erro padrão de medição (SEM) e a mínima mudança detectável (MDC) entre as variáveis medidas nas três repetições. SEM foi calculado usando a fórmula:

$$SEM = SD_{pooled} \times \sqrt{1 - ICC} \text{ (Equação 2)}$$

SD_{pooled} é o desvio padrão agrupado. Já o MDC foi calculado no nível de 90% usando a fórmula:

$$MDC_{90} = SEM \times \sqrt{2} \times 1.64 \text{ (Equação 3)}$$

Todos os tratamentos estatísticos foram considerados significativos quando $p < 0,05$.

5.5 Considerações éticas

Os procedimentos realizados nesta pesquisa foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Pará (CAAE: 63499622.0.0000.0018), respeitando as normas de conduta em pesquisa com seres humanos descritas na resolução 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde.

Todos os participantes assinaram, mediante leitura prévia, o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).

A fim de preservar a integridade física, moral, psicológica e social dos participantes da pesquisa, será mantido sigilo acerca da identificação destes, não havendo correlação entre as informações cedidas e coletadas com a identidade dos sujeitos e os dados coletados foram

nomeados com códigos alfanuméricos aleatoriamente. Além disso, os dados coletados neste estudo serão de uso estritamente científico, para fins de produção de materiais os quais podem ser apresentados em eventos e publicados em revistas, com os critérios éticos adequados.

5.6 Riscos e benefícios

Quanto aos possíveis riscos relacionados à pesquisa, tratam-se da revelação da identidade dos participantes, assim como uma eventual queda durante o teste. Quanto às medidas para minimizar estes riscos, utilizaremos números aleatoriamente escolhidos para nomear o arquivo gerado com os seus dados para que sua privacidade e confidencialidade seja assegurada, além da disponibilização de um ambiente sem barreiras físicas ou elementos que ofereçam risco de queda durante o teste. Por fim, na ocorrência de quedas durante o teste, realizaremos o socorro imediato oferecido pela pesquisadora principal, a qual possui especialização em Urgência e Emergência no Trauma, além do financiamento e transporte até um suporte médico mais próximo caso seja necessário.

Quanto aos benefícios desta pesquisa, destacam-se os benefícios à comunidade científica, assim como para a qualidade da avaliação em saúde, visto que estudos voltados para a aplicabilidade e confiabilidade da avaliação de desfechos clínicos potencializa a assistência em saúde. Além disso, o uso de sensores inerciais em smartphone confere uma alternativa de baixo custo para a obtenção de dados importantes para o teste *Timed-up and go*.

6 RESULTADOS

6.1 Características da amostra

Obteve-se uma amostra de trinta participantes (n=30), composta por indivíduos de ambos os sexos e com idade entre 20 e 38 anos. Além disso, nenhum participante reportou queda no último mês. Calculou-se as médias e desvio padrão das variáveis idade, peso, altura e IMC, descritas na tabela 2.

Tabela 2. Características demográficas dos participantes.
Variáveis Participantes (n=30)

Sexo	Feminino	50% (n=15)
	Masculino	50% (n=15)
Idade (anos)		26,96 ± 1,5
Peso (kg)		75,08 ± 16,03
Altura (m)		1,69 ± 0,099
IMC		26,02 ± 4,64

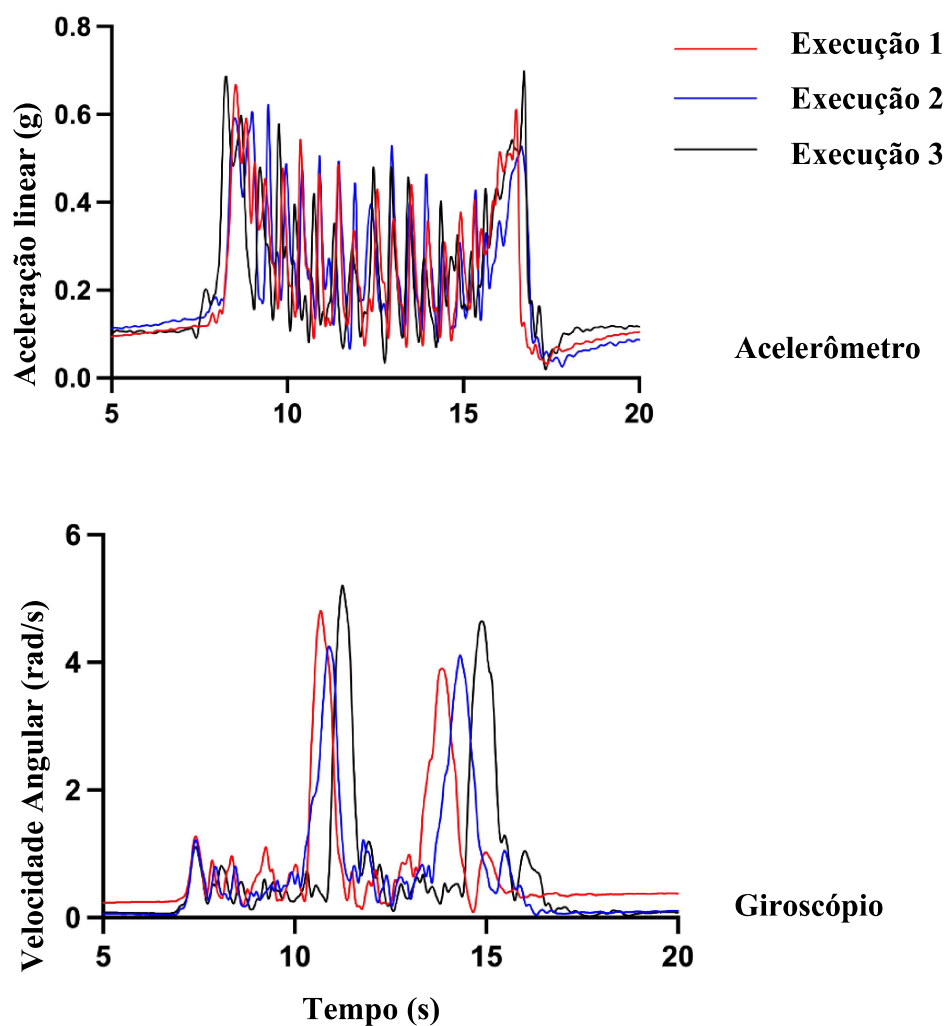
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

6.2 Aplicação da rotina

Os testes foram realizados nos 30 sujeitos, sem necessidade de repetição e sem perda de dados dos sensores durante as avaliações. Além disso, de todas as repetições, totalizando 90 registros, 86 foram identificadas pela rotina, sem a interferência do avaliador e 4 registros precisaram ser manualmente identificados, totalizando 4,4%.

Abaixo segue a representação de um sujeito, com as três repetições realizadas sobrepostas (Figura 4).

Figura 4. Sinais do Acelerômetro e Giroscópio durante a execução do teste TUG em três execuções de um sujeito representativo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

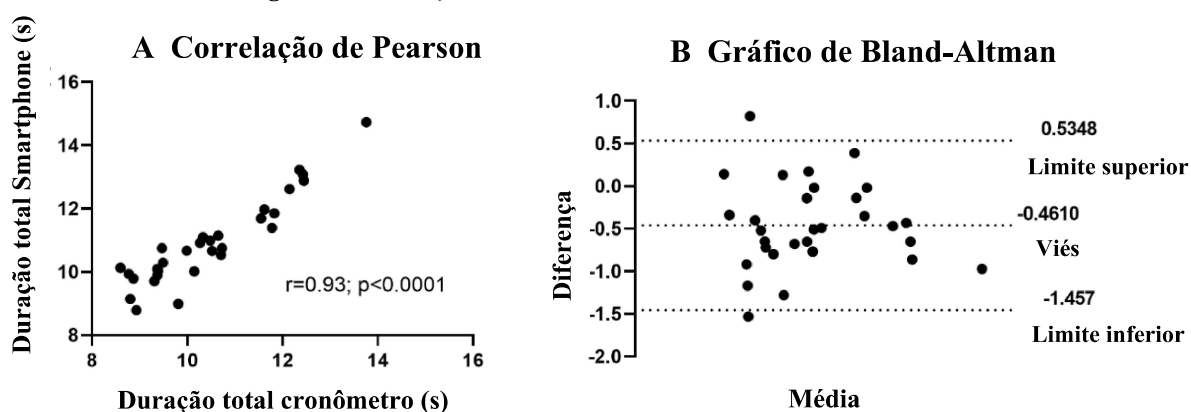
6.3 Validação

Os dados acerca do tempo de execução cronometrado pelo relógio e a variável duração do teste obtida pelo aplicativo obtiveram uma distribuição normal ($p=0,879$).

Entre o cronômetro (10,46 s) e o Smartphone (10,92 s) a diferença entre as médias foi calculada em 0,46. Foi calculado o teste T, demonstrando não haver diferença estatisticamente significativa entre os dados ($T=1,315$; $df=58$; $p=0,19$; eta squares 0,029).

A correlação entre a medida obtida pelo relógio e o Smartphone foi significativa $r=0.93$, indicando uma correlação quase perfeita, representado pela figura 4-A.

Figura 4. Correlação de Pearson e Gráfico de Bland-Altman



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A concordância entre os métodos foi estabelecida pelo teste de Bland-Altman (Figura 4-B), em que a linha central média indica o viés (-0,4610) e as linhas acima e abaixo desta, indicam respectivamente o limite superior (0,5348) e o limite inferior (-1,457) das concordâncias. Foi calculado o intervalo de confiança de 95% sobre o viés, sendo este não significativo, uma vez que o viés igual a zero se encontra dentro desse intervalo.

6.4 Confiabilidade

Em relação às três repetições realizadas pelos indivíduos, foram calculadas as medianas e intervalos interquartis, sendo realizadas a análise de variância por meio da Anova e Kruskal-Wallis para amostras normais e não-normais, respectivamente. Nenhuma das variáveis apresentou diferença estatisticamente significativa (Tabela 3).

O ICC de cada variável foi calculado, obtendo-se estatística significativa em todas as variáveis, exceto tempo de subida e tempo de descida. A confiabilidade teste reteste nas variáveis Pico subida, Pico giro 2 e Imp subida obtiveram valores entre moderado e bom e as variáveis Duração, Tida, Tvolta, Pico descida, Pico giro 1 obtiveram confiabilidade excelente. Apenas Imp descida obteve uma confiabilidade fraca. Os valores da mínima mudança detectável variaram de 0,771 a 2,758.

Tabela 4. Mediana, intervalo interquartil, p valor da análise de variância, ICC, p valor do ICC, SEM e MDC (continua)

Variable	Mediana (intervalo interquartil)	ICC (95%CI)	p-valor	SEM	MDC
Duração (s)					
Repetição 1	10,71 (10; 11,73)				
Repetição 2	10,15 (9,568; 11,44)	0,853 (0,748, 0,922)	>0,0001	0,784	2,173
Repetição 3	10,24 (9,508; 11,38)				
Kruskal-Wallis p-value	0,4729				
Tsub (s)					
Repetição 1	0,98 (0,979;0,999)				
Repetição 2	0,8 (0,979;1)				
Repetição 3	0,9805 (0,979;1)	-0,044 (-0,218, 0,199)	0,643	0,529	1,467
Kruskal-Wallis p-value	0,6077				
Tida (s)					
Repetição 1	4,33 (4,11;4,62)				
Repetição 2	4,26 (4,04;4,683)				
Repetição 3	4,14 (3,938;4,575)	0,810 (0,686, 0,897)	>0,0001	0,569	1,578
Kruskal-Wallis p-value	0,4562				
Tvolta (s)					
Repetição 1	3,775 (3,285;4,237)				
Repetição 2	3,66 (3,118;4,198)				
Repetição 3	3,55 (3,153;4,305)	0,771 (0,627, 0,874)	>0,0001	0,803	2,228
Kruskal-Wallis p-value	0,9169				
Tdescida (s)					
Repetição 1	1,461 (1,341;1,708)				
Repetição 2	1,326 (1,131;1,563)				
Repetição 3	1,397 (1,128;1,698)	0,022 (-0,149, 0,257)	0,400	0,995	2,758
Kruskal-Wallis p-value	0,0655				
Pico subida (g)					
Repetição 1	0,554 (0,4842; 0,6385)				
Repetição 2	0,5608 (0,5105;0,6362)				
Repetição 3	0,5749 (0,5201; 0,6486)	0,732 (0,573, 0,850)	>0,0001	0,292	0,810
Anova p-value	0,8338				
Pico descida (g)					
Repetição 1	0,5438 (0,476; 0,6435)				
Repetição 2	0,5214(0,4793;0,5703)				
Repetição 3	0,5414 (0,4542;0,6062)	0,76 (0,612, 0,867)	>0,0001	0,278	0,771
Kruskal-Wallis p-value	0,7954				

Tabela 4. Mediana, intervalo interquartil, p valor da análise de variância, ICC, p valor do ICC, SEM e MDC

					(conclusão)
Pico giro 1 (rad/s)	Repetição 1	3,402 (2,961; 4,143)			
	Repetição 2	3,47 (2,964; 4,358)			
	Repetição 3	3,545 (2,996; 4,125)	0,86 (0,762, 0,925)	>0,0001	0,590
	Anova p-value	0,8846			
Pico giro 2 (rad/s)	Repetição 1	3,896 (3,361; 4,251)			
	Repetição 2	4,089 (3,34; 4,457)			
	Repetição 3	4,113 (3,392; 4,464)	0,731 (0,572, 0,850)	>0,0001	0,772
	Anova p-value	0,8568			
Imp subida (g/s)	Repetição 1	0,5584 (0,5091;0,6739)			
	Repetição 2	0,5882 (0,511; 0,655)			
	Repetição 3	0,5834 (0,5318; 0,6591)	0,593 (0,391, 0,761)	>0,0001	0,369
	Kruskal-Wallis p-value	0,909			
Imp descida (g/s)	Repetição 1	0,3826 (0,2884;0,4428)			
	Repetição 2	0,3966 (0,3331;0,4875)			
	Repetição 3	0,3886 (0,3036;0,4723)	0,358 (0,135, 0,584)	0,001	0,442
	Anova p-value	0,4546			

Legenda: Duração (Duração Total do Teste); Tsub (Tempo de subida); Tida (Tempo de Ida); Tvolta (Tempo de volta); Tdescida (Tempo de descida); Pico subida (Pico de subida em unidades gravitacionais); Pico descida (Pico de descida em unidades gravitacionais); Pico Giro 1 (Pico do Giro para retornar à cadeira); Pico Giro 2 (Pico do Giro para sentar na cadeira); Imp subida (Impulso de Subida no momento que o indivíduo levanta da cadeira); Imp descida (Impulso de Descida no momento em que o indivíduo senta na cadeira).

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

7 DISCUSSÃO

Este estudo teve como objetivo avaliar a validade, a aplicabilidade e a confiabilidade de sensores inerciais de smartphone na avaliação do *Timed-up and go* com a hipótese de que os sensores inerciais em aparelhos telefônicos são ferramentas que atendem a estes três critérios. Nossos resultados confirmam a hipótese uma vez que o sensor foi aplicado, obteve validação com o relógio e confiabilidade entre as três medidas relacionadas.

No que diz respeito à aplicabilidade, os testes foram realizados nos trinta sujeitos sem repetição e sem perda de dados dos sensores durante as avaliações. A rotina escrita em linguagem MATLAB identificou corretamente a maioria das repetições (86 de 90 registros), com apenas quatro registros exigindo identificação manual. Isso representa uma taxa de sucesso de 95,6% na identificação automática dos registros. Dessa forma, pode-se inferir que a utilização dos sensores inerciais de smartphone registradas pelo aplicativo Momentum pode ser realizada por outros indivíduos sem perda na qualidade dos dados coletados. Para além disso, essa aplicabilidade soma a possibilidade futura de autoaplicação do TUG instrumentado. Essa aplicabilidade confirma o que já foi demonstrado em estudos anteriores envolvendo a utilização de sensores inerciais de smartphone, e que já demonstrou a aplicação do dispositivo na avaliação de parâmetros adicionais do TUG (SILVA; SOUSA, 2016; MELLONE; TACONI; CHIARI, 2012; CONI *et al.*, 2015; GALÁN-MERCANT; CUESTA VARGAS, 2015; MILOSEVIC *et al.*, 2013; GALÁN-MERCANT *et al.*, 2014; GALÁN-MERCANT; CUESTA VARGAS, 2014; PALMERINI *et al.*, 2011; MERCHÁN-BAEZA; GONZÁLEZ-SANCHES; CUESTA-VARGAS *et al.*, 2018; YAHALOM *et al.*, 2020). Até mesmo a autoaplicação para posterior análise de profissionais da saúde já foi publicada, evidenciando que os smartphones são alternativas de baixo custo, viáveis para essa finalidade (Milosevic *et al.*, 2013). O presente estudo reforça essas evidências e, para além disso, utiliza um aplicativo com atividade de extração dos dados de sensores inerciais de forma off-line e uma rotina que conseguiu de forma automática encontrar os eventos e calcular as variáveis, que permitem a inserção de parâmetros adicionais a avaliação do teste TUG. Silva e Sousa (2016), por exemplo, segmentaram as fases de forma manual e automática, sendo a primeira realizada por meio de comparação com um registro de vídeo, já o segundo baseado na integral do sinal do giroscópio para a identificação dos momentos de virada, sendo as transições entre as posturas sentado e em pé definidas quando ocorreram diferenças consecutivas de 3 graus no sinal do ângulo. Em nosso estudo utilizamos os sinais de velocidade angular do giroscópio para definir o momento de início e fim do teste, assim como os picos no sinal do acelerômetro para a

identificação das transições de posturas, diminuindo o risco de uma análise não fidedigna por meio da observação de imagens. No estudo de Coni *et al.* (2015), similar ao nosso, foram utilizados o acelerômetro e o giroscópio e, apesar de serem descritas a identificação dos giros pelo sinal de velocidade angular, similar ao utilizado no presente estudo, não foi especificado quais sinais foram utilizados para definir o início e fim do teste. Ishikawa *et al.* (2019) também identificou fases do teste baseado nos sinais do giroscópio, como o tempo demandado para levantar da cadeira no início do teste, no entanto as variáveis obtidas, diferente do nosso estudo, foram apenas relacionadas ao tempo de cada fase. Outros estudos utilizaram algoritmos para a segmentação das fases do teste, porém não houve maior descrição acerca deste.

A duração total do teste, medida pelo relógio e pelo sensor do Smartphone não apresentaram diferença significativa e tiveram forte correlação e concordância entre si, o que demonstra a validação da medida registrada pelo smartphone, obtida de forma automatizada pela rotina que processou o sinal. Essa validação decorre da capacidade do aplicativo de identificar o momento em que o indivíduo inicia e finaliza o teste, de forma fidedigna, utilizando os dados registrados pelos sensores inerciais do smartphone. Há uma lacuna na literatura referente a validação de sinais de sensor de smartphone. Galán-Merchant *et al.* (2014), no entanto, realizaram experimentos com objetivo de comparar valores dos picos máximos e mínimos de aceleração ao longo dos eixos anteroposterior, médio-lateral e vertical entre os dados dos sensores inerciais de smartphone e de um sensor do mercado. Os autores identificaram uma forte correlação entre os dispositivos e um viés com uma forte inclinação para permanecer próximo de zero. Já Mellone, Tacconi e Chiari (2012), ao validar também um smartphone com um sensor do mercado, comparou os parâmetros tempo de subida, impulso de subida, alcance de subida, duração total, tempo médio do passo, desvio padrão do passo e coeficiente de autocorrelação entre passadas nos eixos médio lateral e anteroposterior. Em relação ao tempo de passo, os autores identificaram, quanto à média e desvio padrão, limites de concordância menores que a resolução temporal dos dispositivos, ou seja, menores que a menor unidade de tempo que o dispositivo é capaz de registrar. Além disso, a duração total e o tempo de subida apresentaram limite de concordância de 0,04s. Ambos os resultados demonstram que estes estão dentro de uma faixa de medição precisa que o dispositivo é capaz de capturar, indicando uma diferença considerada insignificante. Estes resultados apontam a capacidade do smartphone em medir tempos com certa precisão. Não há estudos na literatura que validaram os sensores de smartphone com a cinemática, porém Kleiner *et al.* (2018) utilizou outros tipos de sensores na avaliação do TUG em indivíduos com a Doença de Parkinson. Os autores compararam o tempo de duração do teste medida por um sensor do

mercado e compararam o cronômetro e um sistema optoeletrônico, obtendo enquanto resultado uma reprodutibilidade considerada ótima e precisa do sensor. Apesar da magnitude deste achado, o sensor utilizado foi um disponível no mercado e projetado para esta finalidade e não o sensor de um smartphone. Já Ishikawa *et al.* (2019) calculou o coeficiente de correlação entre o tempo de duração do TUG utilizando os sensores do smartphone e o tempo registrado de forma manual, obtendo uma correlação alta, no entanto o risco de viés não foi mencionado no estudo. Dessa forma, este estudo é o primeiro estudo usando o sensor de Smartphone que procura chegar o mais próximo de uma validação.

Os resultados do nosso estudo mostraram que nenhuma das variáveis apresentou diferença significativa entre as três medidas, o que indica uma consistência. Os dados se mostraram confiáveis quando foram medidos os ICCs entre as três repetições. A maioria das variáveis apresentou valores ICC entre moderado e excelente e a mínima mudança detectável variou entre 0,771 e 2,758. No entanto, as variáveis tempo de subida e tempo de descida não mostraram uma confiabilidade estatisticamente significativa. Estudos anteriores também investigaram a confiabilidade de sensores de smartphone, como em Mellone, Tacconi e Chiari (2012), no qual a confiabilidade apresentou-se entre razoável e excelente em quase todos os parâmetros, tanto na avaliação intra, como inter avaliadores. Os resultados deles mostraram, assim como o nosso, que a duração total do teste é uma variável com confiabilidade excelente e o impulso de subida uma variável com confiabilidade de moderada a alta. Outro parâmetro comparável, o tempo de subida, apresentou resultado diferente dos nossos achados, ao passo que este obteve uma confiabilidade entre moderada e alta no estudo dos autores citados, porém não apresentou uma estatística significativa no nosso. Em contrapartida, apenas o acelerômetro foi utilizado neste estudo, por isso ele não mediu parâmetros relacionados aos giros, sendo o primeiro giro do teste apresentado no nosso estudo um dos parâmetros mais confiáveis.

Ainda sobre a confiabilidade, no estudo de Galán-Merchant *et al.* (2014) a confiabilidade entre teste de idosos foram testadas e os achados apontam excelente reprodutibilidade nas variáveis magnitude de aceleração e deslocamentos nos eixos vertical, médio-lateral e anteroposterior, no entanto a amostra contou com apenas 5 participantes. As fases do teste foram segmentadas de acordo com protocolos já publicados, no entanto apenas variáveis relacionadas a aceleração nos eixos de movimento, como picos máximos e mínimos e magnitude de aceleração, foram comparadas. Além disso, neste estudo, diferente do nosso, foi realizada uma versão estendida do teste, com perímetro de 10 metros para a caminhada e com o posicionamento do smartphone na direção do osso esterno. Outros autores (GUZMÁN; SILVA; GUZMÁN-VENEGAS, 2017; MERCHÁN-BAEZA; GONZÁLEZ-SANCHES;

CUESTA-VARGAS *et al.*, 2018) também testaram a confiabilidade dos sensores inerciais de smartphone, obtiveram como resultado uma excelente confiabilidade em todas as variáveis, contudo apenas variáveis de tempo em cada etapa do teste foram comparadas. Em Guzmán, Silva e Guzmán-Venegas (2017) o tempo total do teste e o tempo de caminhada foram as variáveis que obtiveram maiores valores de confiabilidade, no nosso estudo, estas variáveis, aqui segmentadas entre tempo de ida e tempo de volta ao invés de tempo de caminhada, também estão entre as variáveis com os maiores valores de ICC. Em comparação ao estudo de Merchán-Baeza, González-Sanches e Cuesta-Vargas *et al.* (2018), na avaliação interavaliador o tempo de descida foi a variável com maior valor de confiabilidade e o tempo do giro a de menor valor, diferente destes achados, nossos resultados não incluíram o tempo do giro e o tempo de descida foi uma das duas variáveis que não obtiveram valor estatístico significativo. Apesar das limitações existentes, estes achados corroboram com os achados do presente estudo e em alguns pontos eles são comparáveis.

Dessa forma, a rotina de avaliação mostrou um alto grau de precisão na identificação dos registros, o Smartphone apresentou uma boa concordância com o método convencional de cronometragem, e a confiabilidade teste-reteste foi geralmente alta para a maioria das variáveis. Esses achados fornecem suporte para a utilização dos sensores inerciais e do aplicativo Momentum como uma abordagem confiável e precisa na avaliação do desempenho do teste *Timed-up and go*.

As limitações deste estudo incluem a ausência de validação entre os sensores inerciais de smartphones e a cinemetria para a comparação entre as variáveis além do tempo de execução do TUG. Este estudo não realizou a validação com a cinemetria devido não haver o quantitativo necessário de câmeras. Ademais, futuras pesquisas podem utilizar outros smartphones a fim de testar a confiabilidade dos dados com ferramentas distintas.

8 CONCLUSÃO

Esta pesquisa confirmou a validade, aplicabilidade e confiabilidade do Smartphone na mensuração de parâmetros adicionais ao teste *Timed-up and go*, demonstrando a possibilidade de uso de dispositivos de baixo custo para a avaliação de variáveis importantes para a compreensão da mobilidade e equilíbrio de indivíduos. Estes achados podem contribuir para a avaliação com informações quantitativas adicionais para a investigação sutil de comprometimentos relacionados ao desempenho no teste.

REFERÊNCIAS

- ABBOTT, J.C., WAGLE, J.P., SATO, K., PAINTER, K., LIGHT, T.J., STONE, M.H. Validation of Inertial Sensor to Measure Barbell Kinematics across a Spectrum of Loading Conditions. **Sports** (Basel), v. 8, n. 7, p. 93, 2020. DOI: 10.3390/sports8070093
- AL-AMRI, M., NICHOLAS, K., BUTTON, K., SPARKES, V., SHEERAN, L., DAVIES, J.L. Inertial Measurement Units for Clinical Movement Analysis: Reliability and Concurrent Validity. **Sensors**, v. 18, n. 3, p. 719, 2018. DOI: 10.3390/s18030719.
- ANSAI, J. H. *et al.* Performances on the Timed-up and go Test and subtasks between fallers and non-fallers in older adults with cognitive impairment. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, v. 76, n. 6, p. 381–386, jun. 2018.
- BARRY, E. *et al.* Is the Timed Up and Go test a useful predictor of risk of falls in community dwelling older adults: a systematic review and meta-analysis. **BMC Geriatr.**, v. 14, p. 14, 2014.
- BONNYAUD, C. *et al.* Spatiotemporal and Kinematic Parameters Relating to Oriented Gait and Turn Performance in Patients with Chronic Stroke. **PLOS ONE**, v. 10, n. 6, p. e0129821, 19 jun. 2015.
- BROWNE, W.; NAIR, B. (KICHU) R. The Timed Up and Go test. **Medical Journal of Australia**, v. 210, n. 1, p. 13, 28 dez. 2018.
- CHRISTOPHER, A. *et al.* The reliability and validity of the Timed Up and Go as a clinical tool in individuals with and without disabilities across a lifespan: a systematic review. **Disability and Rehabilitation**, v. 43, n. 13, p. 1–15, oct. 2019. doi:10.1080/09638288.2019.1682066.
- CONI, A. *et al.* Influence of age and gender on sensor-based functional measures: A factor analysis approach. In: IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR), 2015. p. 1155-1160. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7319527>. Acesso em: 1 mar. 2023.
- DA COSTA MORAES, A. A. *et al.* Validity and Reliability of Smartphone App for Evaluating Postural Adjustments during Step Initiation. **Sensors** (Basel, Switzerland), v. 22, n. 8, p. 2935, 12 abr. 2022.
- DUARTE, M. B. *et al.* Validity and reliability of a smartphone-based assessment for anticipatory and compensatory postural adjustments during predictable perturbations. **Gait & Posture**, v. 96, p. 9–17, 1 jul. 2022.
- DUBOIS, A. *et al.* Automating the Timed Up and Go Test Using a Depth Camera. **Sensors**, v. 18, n. 2, p. 14, 22 dez. 2017.
- GALÁN-MERCANT, A. *et al.* Reliability and criterion-related validity with a smartphone used in timed-up-and-go test. **Biomedical engineering online**, v. 13, n. 1, p. 156, 2014.

GALÁN-MERCANT, A.; CUESTA-VARGAS, A. I. Differences in trunk accelerometry between frail and non-frail elderly persons in functional tasks. **BMC Research Notes**, v. 7, n. 1, 21 fev. 2014.

GALÁN-MERCANT, A.; CUESTA-VARGAS, A. I. Clinical frailty syndrome assessment using inertial sensors embedded in smartphones. **Physiological Measurement**, v. 36, n. 9, p. 1929–1942, 6 ago. 2015.

GAUTSCHI, O. P. *et al.* Assessment of the minimum clinically important difference in the timed up and go test after surgery for lumbar degenerative disc disease. **Neurosurgery**, v. 80, n. 3, p. 380–385, 2017.

GUZMÁN, J.C.; SILVA, R.G.; GUZMÁN-VENEGAS, R. Reproducibilidad de los tiempos de ejecución de la prueba de Timed Up and Go, medidos con acelerómetros de smartphones en personas mayores residentes en la comunidad. **Revista Española de Geriatria y Gerontología**, v. 52, p. 249-252, 2017.

HASSANI, A. *et al.* Kinematic analysis of motor strategies in frail aged adults during the Timed Up and Go: how to spot the motor frailty? **Clinical Interventions in Aging**, p. 505, fev. 2015.

HIGASHI, Y. *et al.* Quantitative evaluation of movement using the timed up-and-go test. *IEEE engineering in medicine and biology magazine: the quarterly magazine of the Engineering in Medicine & Biology Society*, v. 27, n. 4, p. 38–46, 2008.

ISHIKAWA, M.; YAMADA, S.; YAMAMOTO, K.; AOYAGI, Y. Gait analysis in a component timed-up-and-go test using a smartphone application. **Journal of Neurological Sciences**, v. 398, p. 45-49, 2019.

JENSEN, M.M., JORGENSEN, J.T., BINDERUP, T., KJÆR, A. Tumor volume in subcutaneous mouse xenografts measured by microCT is more accurate and reproducible than determined by 18F-FDG-microPET or external caliper. **BMC Medical Imaging**, v. 8, p. 16, 2008. DOI: 10.1186/1471-2342-8-16.

KLEINER, A. F. R.; PACIFICI, I.; VAGNINI, A.; CAMEROTA, F.; CELLETTI, C.; STOCCHI, F.; DE PANDIS, M. F.; GALLI, M. F. Timed Up and Go evaluation with wearable devices: Validation in Parkinson's disease. **J Bodyw Mov Ther**, v. 22, n. 2, p. 390-395, abr. 2018. DOI: 10.1016/j.jbmt.2017.07.006.

MATHIAS, S. *et al.* Balance in elderly patients: the "get-up and go" test. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, v. 67, n. 6, p. 387–389, 1 jun. 1986.

MELLONE, S. *et al.* Validity of a Smartphone-based instrumented Timed Up and Go. **Gait & Posture**, v. 36, n. 1, p. 163–165, maio 2012.

MELLONE, S. *et al.* Smartphone-based solutions for fall detection and prevention: the FARSEEING approach. **Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie**, v. 45, n. 8, p. 722–727, 2012.

MERCHÁN-BAEZA, J. A. *et al.* Using Smartphones to Collect Quantitative Data on Lower Limb Functionality in People Who Have Suffered a Stroke. **Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases**, v. 27, n. 12, p. 3555–3562, dez. 2018.

MILOSEVIC, M. *et al.* Quantifying Timed-Up-and-Go test: A smartphone implementation. In: IEEE International Conference on Body Sensor Networks (BSN), 2013. p. 1-4.

MORAES, D. C. *et al.* Postural instability and the condition of physical frailty in the elderly. **Revista latino-americana de enfermagem**, v. 27, p. e3146, 2019.

NETUKOVA, S. *et al.* Instrumented pig gait analysis: State-of-the-art. **Journal of Veterinary Behavior**, v. 45, p. 51–59, 1 set. 2021.

PONCIANO, V. *et al.* Is The Timed-Up and Go Test Feasible in Mobile Devices? A Systematic Review. **Electronics**, v. 9, n. 3, p. 528, 23 mar. 2020.

RODRIGUES, L. A. *et al.* Wearable Devices and Smartphone Inertial Sensors for Static Balance Assessment: A Concurrent Validity Study in Young Adult Population. **Journal of Personalized Medicine**, v. 12, n. 7, p. 1019, 1 jul. 2022.

SANTOS, P. S. A. *et al.* The hand tremor spectrum is modified by the inertial sensor mass during lightweight wearable and smartphone-based assessment in healthy young subjects. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 16808, 7 out. 2022.

SAVOIE, P. *et al.* Automation of the Timed-Up-and-Go Test Using a Conventional Video Camera. IEEE **Journal of Biomedical and Health Informatics**, v. 24, n. 4, p. 1196–1205, abr. 2020.

SCHOENE, D. *et al.* Discriminative ability and predictive validity of the timed up and go test in identifying older people who fall: systematic review and meta-analysis. **J Am Geriatr Soc.**, v. 61, p. 202–208, 2013.

SEIFALLAHI, M. *et al.* Alzheimer's Disease Detection Using Comprehensive Analysis of Timed Up and Go Test via Kinect V.2 Camera and Machine Learning. IEEE **Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering**, v. 30, p. 1589–1600, 2022.

SHROUT, P.E.; FLEISS, J.L. Intraclass correlations: Uses in assessing rater reliability. **Psychol. Bull.**, v. 86, p. 420-428, 1979. DOI: 10.1037/0033-2909.86.2.420.

SILVA, J.; SOUSA, I. Instrumented timed up and go: Fall risk assessment based on inertial wearable sensors. In: IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA), p. 1-6, 2016.

SPRINT, G. *et al.* Toward Automating Clinical Assessments: A Survey of the Timed Up and Go. IEEE **Reviews in Biomedical Engineering**, v. 8, p. 64–77, 2015.

TYSON, S.; CONNELL, L. The psychometric properties and clinical utility of measures of walking and mobility in neurological conditions: a systematic review. **Clinical Rehabilitation**, v. 23, n. 11, p. 1018–1033, 28 set. 2009.

VAN KERSBERGEN, J. *et al.* Camera-based objective measures of Parkinson's disease gait features. **BMC Research Notes**, v. 14, n. 1, 26 ago. 2021.

YAHALOM, H. *et al.* Psychiatric Patients on Neuroleptics: Evaluation of Parkinsonism and Quantified Assessment of Gait. **Clinical Neuropharmacology**, v. 43, n. 1, p. 1–6, 2020.

YANG, Z. *et al.* A Smart Environment-adapting Timed-up-and-go System Powered by Sensor-embedded Insoles. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 6, n. 2, p. 1298–1305, abr. 2019.

YANG, Z. *et al.* Empowering a gait feature-rich timed-up-and-go system for complex ecological environments. In: **IEEE/ACM International Conference on Connected Health: Applications, Systems and Engineering Technologies (CHASE)**, p. 382-387, 2017.

APÊNDICE A

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Prezado(a) Senhor (a),

Você está sendo convidado(a) a participar da pesquisa intitulada “AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE E CONFIABILIDADE DO TESTE *TIMED-UP AND GO* INSTRUMENTADO POR SENSORES INERCIAIS DE SMARTPHONES”, este teste consiste na realização das seguintes tarefas: levantar de uma cadeira, andar por três metros, girar, retornar à cadeira e sentar. Os sensores inerciais são ferramentas que possibilitam registrar informações acerca do movimento realizado e estão presentes em smartphones, dessa forma, ao realizar o teste com um smartphone anexado ao corpo, serão coletadas informações da realização do teste.

A pesquisa tem como objetivo testar a aplicabilidade e a confiabilidade do aplicativo para smartphone Momentum Science App na avaliação do teste *Timed-up and go*. Trata-se de uma pesquisa quantitativa e exploratória, transversal, por meio de pesquisa de levantamento, orientada pela Prof^a Dr^a Bianca Callegari. A coleta de dados será realizada por meio da execução do teste *timed-up and go* três vezes, com intervalo de 5 minutos, durante o teste será usada uma cinta em neoprene com um celular acoplado na parte posterior.

Quanto aos possíveis riscos relacionados à pesquisa, tratam-se da revelação da identidade dos participantes, assim como uma eventual queda durante o teste. Quanto às medidas para minimizar estes riscos, utilizaremos números aleatoriamente escolhidos para nomear o arquivo gerado com os seus dados para que sua privacidade e confidencialidade seja assegurada, além da disponibilização de um ambiente sem barreiras físicas ou elementos que ofereçam risco de queda durante o teste. Por fim, na ocorrência de quedas durante o teste, realizaremos o socorro imediato oferecido pela pesquisadora principal, a qual possui especialização em Urgência e Emergência no Trauma, além do financiamento e transporte até um suporte médico mais próximo caso seja necessário.

Investigar esse tema trará benefícios à comunidade científica, assim como para a qualidade da avaliação em saúde. Os dados serão divulgados sem a utilização da sua identidade, objetivando posterior redação de trabalhos científicos, a fim de ampliar a discussão sobre o tema proposto. Além disso, a participação não será remunerada, assim como não terá ônus. Você poderá desistir da pesquisa e solicitar a retirada de suas informações.

Qualquer esclarecimento poderá ser prestado através do contato da orientanda (91) 98130-2827. Também, se houverem dúvidas quanto a questões éticas, pode-se entrar em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da Universidade Federal do Pará (CEP - ICS/UFPA). Rua Augusto Corrêa, nº 1. Faculdade de Enfermagem do ICS – Sala 13 – Campus Universitário, Bairro: Guamá. CEP: 66.075-110 – Belém – Pará. Tel: (91) 3201-7735. E-mail: cepccs@ufpa.br

Thâmela Thaís Santos dos Santos

Pesquisadora Responsável

CREFITO 12 21682 TO E-mail: thamelathais.terapeuta@gmail.com

CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Diante das informações acima prestadas e após o esclarecimento de outras dúvidas, eu, abaixo assino, concordo em participar da pesquisa.

Belém, ___ de _____ de 20 ___.

Assinatura do Participante

APÊNDICE B
FICHA DE CARACTERIZAÇÃO

Código alfanumérico:

Idade:

Sexo:

Peso:

Altura:

Histórico de queda no último mês: