



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

KARINA SANTOS GUEDES DE SÁ

**SENSORES INERCIAIS: UMA ALTERNATIVA OBJETIVA PARA
CLASSIFICAÇÃO BASEADA EM EVIDÊNCIAS DO BASQUETE EM
CADEIRA DE RODAS**

Belém, Pará
2021

KARINA SANTOS GUEDES DE SÁ

**SENSORES INERCIAIS: UMA ALTERNATIVA OBJETIVA PARA
CLASSIFICAÇÃO BASEADA EM EVIDÊNCIA DO BASQUETE EM CADEIRA
DE RODAS**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em ciências do movimento humano.

Área de concentração: Biodinâmica do movimento humano.

Orientador: Dr. Anselmo de Athayde Costa e Silva.

Belém, Pará
2021

**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)**

S111s Sá, Karina Santos Guedes de.

Sensores inerciais uma alternativa objetiva para
classificação baseada em evidências do basquete em
cadeira de rodas / Karina Santos Guedes de Sá. — 2021.
73 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Anselmo de Athayde Costa E
Silva Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
do Pará,
Instituto de Ciências da Saúde, Programa de Pós-
Graduação em Ciências do Movimento Humano, Belém,
2021.

1. Sensores inerciais. 2. Avaliação funcional. 3.
Basquete em cadeira de rodas. I. Título.

CDD 613.71

KARINA SANTOS GUEDES DE SÁ

**SENSORES INERCIAIS: UMA ALTERNATIVA OBJETIVA PARA
CLASSIFICAÇÃO BASEADA EM EVIDÊNCIA DO BASQUETE EM
CADEIRA DE RODAS**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em ciências do movimento humano.

Data de aprovação: 19/05/2021.

Banca examinadora:

Prof. Dr. José Irineu Gorla
Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)

Prof.^a. Dr.^a. Marília Passos Magno e Silva
Universidade Federal do Pará (UFPA)

Prof. Dr. Anselmo de Athayde Costa e Silva
Universidade Federal do Pará (UFPA)

Dedico este trabalho à minha avó
Waldecir Luiza Santos Correia.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois Ele faz tudo ser possível. Agradeço àqueles que estão sempre próximos de mim, que são meus alicerces e que me apoiam: meus pais Maria Salete Santos de Sá e Arildo Marçal Guedes de Sá, meu amor e companheiro de vida Igo Santiago Martins, meus irmãos Kevin Santos Guedes de Sá e Keyla Santos Guedes de Sá.

Agradeço também a todos os professores que me auxiliaram na realização deste trabalho e me inspiram a ser pesquisadora: Anselmo de Athayde Costa e Silva, Marília Passos Magno e Silva e Givago Souza.

E não posso deixar de agradecer à Pituca, Lola, Mary e Pipy, pois elas me fazem feliz todos os dias.

“Pode-se encontrar a felicidade mesmo nas horas mais sombrias, se a pessoa se lembrar de acender a luz.”

Harry Potter e o Prisioneiro de Azkaban – J. K. Rowling

RESUMO

O sistema de classificação dos esportes paralímpicos evoluiu com o aperfeiçoamento das avaliações, para tornar as competições mais justas. Com isso, foi desenvolvido um movimento internacional para tornar a classificação dos atletas baseada em evidências. Tais evidências podem ser obtidas de diferentes formas, como testes e equipamentos válidos para medidas de variáveis relacionadas à classificação. Desse modo, o objetivo principal desta dissertação foi investigar a utilização de sensores inerciais no processo de classificação esportiva do basquete em cadeira de rodas. A dissertação foi escrita no modelo agregado de artigos e conta com dois artigos: uma revisão sistemática e um estudo original. Na revisão sistemática observamos que instrumentos como cinemetria, dinamômetros e sensores inerciais têm sido aplicados na classificação baseada em evidências nos esportes em cadeira de rodas, utilizando variáveis como força, velocidade e aceleração para discriminar sujeitos de diferentes classes. Em nosso estudo original observamos que: 1) atletas de classes mais altas realizaram os testes de desempenho em menores tempos; 2) 16 variáveis apresentaram correlações significativas moderadas e fortes com a classe esportiva; 3) as variáveis coletadas com o sensor posicionado na cadeira de rodas apresentaram maior número de correlações fortes e moderadas com a classe esportiva e; 4) o teste de agilidade de Illinois apresentou mais variáveis correlacionadas com a classe esportiva quando comparado ao teste de velocidade máxima de 20 metros e o eixo anteroposterior de ambos os sensores apresentaram maior número de variáveis correlacionadas com a classe esportiva. Em síntese, os sensores inerciais parecem adequados para avaliação da classe esportiva. Por fim, acreditamos que o uso de tecnologias no ambiente esportivo irá crescer mais e parece ser um caminho sem volta, elevando o desempenho e as competições a outros patamares.

Palavras-chave: Sensores inerciais; classificação baseada em evidências; avaliação funcional; unidade de medida inercial; basquete em cadeira de rodas.

ABSTRACT

The classification system for Paralympic sports has evolved with the improvement of evaluations, to make competitions fairer. With this, an international movement was developed to make the classification of athletes based on evidence. Such evidence can be obtained in different ways, such as tests and valid equipment for measures of variables related to classification. Thus, the main objective of this dissertation was to investigate the use of inertial sensors in the sportive classification process of wheelchair basketball. The dissertation was written in the aggregated model of articles and has two articles: a systematic review and an original study. In the systematic review, we observed that instruments such as kinematics, dynamometers and inertial sensors have been applied in the evidence-based classification in wheelchair sports, using variables such as strength, speed and acceleration to discriminate subjects from different classes. In our original study, we observed that: 1) higher class athletes performed performance tests in less time; 2) 16 variables showed moderate and strong significant correlations with the sports class; 3) the variables collected with the sensor positioned in the wheelchair presented a greater number of strong and moderate correlations with the sports class and; 4) the Illinois agility test showed more variables correlated with the sports class when compared to the maximum speed test of 20 meters and the anteroposterior axis of both sensors showed a greater number of variables correlated with the sports class. In summary, the inertial sensors seem suitable for assessing the sporting class. Finally, we believe that the use of technologies in the sports environment will grow more and it seems to be a path of no return, taking performance and competitions to other levels.

Keywords: Inertial sensors; evidence-based classification; functional assessment; inertial unit of measure; Wheelchair basketball.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	13
1.1. CLASSIFICAÇÃO E A UTILIZAÇÃO DE SENSORES INERCIAIS ...	13
1.1.1. O sistema de classificação funcional em esportes paralímpicos	13
1.1.2. Características da classificação do basquete em cadeira de rodas	15
1.1.3. Utilização de sensores inerciais em testes com cadeira de rodas	15
1.1.4. Objetivos	17
2. ARTIGO 1: CLASSIFICAÇÃO BASEADA EM EVIDÊNCIAS NOS ESPORTES EM CADEIRA DE RODAS: UMA REVISÃO DE LITERATURA..	18
2.1. RESUMO.....	18
2.2. INTRODUÇÃO	19
2.3. MÉTODOS	20
2.3.1. Considerações preliminares.....	20
2.3.2. Critérios de elegibilidade.....	20
2.3.3. Estratégia de busca	21
2.3.4. Extração dos dados	22
2.3.5. Qualidade dos estudos	22
2.4. RESULTADOS	23
2.4.1. Estudos incluídos.....	23
2.4.2. Avaliação da qualidade	23
2.4.3. Resumo dos estudos	23
2.5. DISCUSSÃO	29
2.5.1. Visão geral dos esportes em cadeira de rodas e do sistema de classificação	29
2.5.2. Parâmetros avaliados e testes	30
2.5.3. Instrumentos	32
2.5.4. Desafios para implementar um sistema de classificação baseado em evidências.....	35
2.5.5. CBE: Testes isolados ou durante o jogo?	35
2.6. CONCLUSÃO	36
3. ARTIGO 2: USO DE SENSORES INERCIAIS NO BASQUETE EM CADEIRA DE RODAS	37
3.1. RESUMO.....	37
3.2. INTRODUÇÃO	38

3.3.	MÉTODOS	39
3.3.1.	Caracterização do estudo	39
3.3.2.	Amostra	39
3.3.3.	Protocolo	40
3.3.4.	Sensor	42
3.3.5.	Análise dos dados	42
3.4.	RESULTADOS	45
3.4.1.	Correlações com a classe esportiva	50
3.4.2.	Posicionamento do sensor e direção (eixo de movimentação).....	59
3.5.	DISCUSSÃO	59
3.5.1.	Realização dos testes de habilidades	59
3.5.2.	Dados coletados com sensores inerciais.....	60
3.5.3.	Posicionamento e direção (eixo de movimentação)	61
3.5.4.	Classificação esportiva	62
3.5.5.	Limitações da pesquisa.....	62
3.5.6.	Direção futura.....	62
3.6.	CONCLUSÃO	63
4.	CONCLUSÃO GERAL DA DISSERTAÇÃO.....	64
5.	REFERÊNCIAS.....	65
	ANEXOS.....	70
	ANEXO 1:	70

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma PRISMA.	22
Figura 2 - Posicionamento do Sensor.....	40
Figura 3 - Teste de velocidade máxima de 20m e teste de agilidade de Illinois	41
Figura 4 - Eixos de movimentação do acelerômetro e do giroscópio	42
Figura 5 - Processamento do sinal.....	43
Figura 6 - Sinal de aceleração linear de atleta com classe esportiva alta	46
Figura 7 - Sinal de velocidade angular de atleta com classe esportiva alta.....	47
Figura 8 - Sinal de aceleração linear de atleta com classe esportiva baixa	48
Figura 9 - Sinal de velocidade angular de atleta com classe esportiva baixa.....	49
Figura 10 - Correlação entre a classe esportiva e variáveis coletadas com acelerômetro no teste de velocidade máxima de 20 metros para o eixo anteroposterior.....	51
Figura 11 - Correlação entre a classe esportiva e variáveis coletadas com acelerômetro no teste de velocidade máxima de 20 metros para o eixo médio lateral.	51
Figura 12 - Correlação entre a classe esportiva e variáveis coletadas com acelerômetro no teste de velocidade máxima de 20 metros para a resultante dos três eixos.....	52
Figura 13 - Correlação entre a classe esportiva e variáveis coletadas com acelerômetro no teste de velocidade máxima de 20 metros para o eixo vertical.	52
Figura 14 - Correlação entre classe esportiva e variáveis coletadas com o giroscópio no teste de velocidade máxima de 20 metros para o eixo anteroposterior.	53
Figura 15 - Correlação entre classe esportiva e variáveis coletadas com o giroscópio no teste de velocidade máxima de 20 metros para o eixo médio lateral.	53
Figura 16 - Correlação entre classe esportiva e variáveis coletadas com o giroscópio no teste de velocidade máxima de 20 metros para a resultante dos três eixos.	54
Figura 17 - Correlação entre classe esportiva e variáveis coletadas com o giroscópio no teste de velocidade máxima de 20 metros para o eixo vertical.	54
Figura 18 - Correlação entre classe esportiva e variáveis coletadas com o acelerômetro no teste de agilidade de Illinois para o eixo anteroposterior.	55
Figura 19 - Correlação entre classe esportiva e variáveis coletadas com o acelerômetro no teste de agilidade de Illinois para o eixo médio lateral.	55
Figura 20 - Correlação entre classe esportiva e variáveis coletadas com o acelerômetro no teste de agilidade de Illinois para a resultante dos três eixos.	56
Figura 21 - Correlação entre classe esportiva e variáveis coletadas com o acelerômetro no teste de agilidade de Illinois para o eixo vertical.	56
Figura 22 - Correlação entre classe esportiva e variáveis coletadas com o giroscópio no teste de agilidade de Illinois para o eixo anteroposterior.	57
Figura 23 - Correlação entre classe esportiva e variáveis coletadas com o giroscópio no teste de agilidade de Illinois para o eixo médio lateral.	57
Figura 24 - Correlação entre classe esportiva e variáveis coletadas com o giroscópio no teste de agilidade de Illinois para a resultante dos três eixos.	58

Figura 25 - Correlação entre classe esportiva e variáveis coletadas com o giroscópio no teste de agilidade de Illinois para o eixo vertical.	58
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Revisão dos artigos	25
Tabela 1 - Revisão dos artigos (continuação).	26
Tabela 1 - Revisão dos artigos (continuação).	27
Tabela 1 - Revisão dos artigos (continuação).	28
Tabela 2 – Caracterização dos participantes da pesquisa.....	39
Tabela 3 - Parâmetros extraídos do sinal do acelerômetro e do giroscópio.	43
Tabela 3 - Parâmetros extraídos do sinal do acelerômetro e do giroscópio (Continuação).	44
Tabela 4 - Resultado dos testes de 20m e agilidade de Illinois	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IPC – International Paralympic Committee

IWBF – International Wheelchair Basketball Federation

CIF – Classificação Internacional da Funcionalidade, Incapacidade e Saúde

MEMS – Microelectromechanical systems

IMU – Inertial Measurement Unit

CBE – Classificação Baseada em Evidência

Cop – Centro de pressão

LoS – Limites de estabilidade sentado

WMP - Monitor de desempenho da mobilidade em cadeira de rodas

MMC - MetaMotionC

SD – Standard Deviation (Desvio Padrão)

RMS – Root Mean Square

AP – Anteroposterior

ML – Médio lateral

Re – Resultante

V – Vertical

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1. CLASSIFICAÇÃO E A UTILIZAÇÃO DE SENSORES INERCIAIS

1.1.1. O sistema de classificação funcional em esportes paralímpicos

Em consideração ao contexto histórico e em decorrência da grande heterogeneidade de deficiências que os esportes paralímpicos englobam, existia a necessidade de dividir os atletas em grupos (ou classes) por modalidades competitivas. Nesse sentido, durante os primeiros anos do movimento paralímpico, a classificação dos atletas era médica, ou seja, baseado no diagnóstico médico do indivíduo. Essa classificação estava ligada ao contexto no qual os esportes paralímpicos começam a se popularizar, que foi o ambiente hospitalar, com sua origem na reabilitação, compondo-se de classes distintas para pessoas com lesões medulares, amputados, entre outras. Com isso, todos os esportes possuíam as mesmas classes. Ao longo do amadurecimento do movimento paralímpico e com a desvinculação da prática esportiva puramente para a reabilitação, a classificação médica começou a apresentar falhas que afetavam a competição esportiva. O fato é que pessoas com o mesmo diagnóstico poderiam apresentar funcionalidades diferentes. Por exemplo, atletas com lesão medular, dependendo da região da coluna e da magnitude da lesão, apresentam comprometimentos motores e sensitivos diferentes. Todos esses fatores foram determinantes para que a classificação funcional fosse adotada (TWEEDY; VANLANDEWIJCK, 2014).

Devido à relação taxonômica entre a Classificação Internacional de Funcionalidade em Saúde (CIF) e a Classificação Funcional paralímpica, era possível aplicar a linguagem e a estrutura da CIF ao contexto do esporte paralímpico (TWEEDY, 2002). Assim o sistema de Classificação Funcional é baseado nas definições e linguagem da CIF (TWEEDY; VANLANDEWIJCK, 2014). Dessa forma, a classificação deixou de considerar a lesão em si e passou a levar em consideração o

impacto da lesão na realização de tarefas, ou seja, em sua funcionalidade. Ainda assim, esse sistema apresenta algumas características questionáveis (TWEEDY; VANLANDEWIJCK, 2014). A primeira é que fatores como idade, motivação, aptidão e treinamento, para além da lesão, afetam a função e o desempenho dos atletas. Dessa maneira, existe viés que dificultam a classificação de acordo com a funcionalidade adotada pela CIF. Além disso, por mais que a classificação adotada fosse baseada na função, isso não era generalizado para todos os esportes, já que cada esporte tem seu próprio sistema de classificação. Modalidades em que atletas com deficiência visual competem, por exemplo, a natação e o atletismo, classificam esses atletas separadamente, pois para deficiência visual a classificação ainda possui uma base médica (TWEEDY; VANLANDEWIJCK, 2014). Outro ponto importante a ser abordado é quanto à subjetividade das medidas para a classificação nesse sistema. Por muitos anos (e isso ainda é observado atualmente), a avaliação realizada nos esportes era com base em observação e testes manuais. Esses procedimentos estão sujeitos à subjetividade do avaliador, que pode ser afetada pelo tempo de experiência e outros fatores, que são constantemente fonte de questionamento de atletas e treinadores (VAN DER SLIKKE *et al.*, 2018a). Dessa forma, surgiu a necessidade de tornar a classificação funcional mais objetiva.

Um sistema de classificação baseado em evidências é aquele que possui sua finalidade declarada sem ambiguidade e, que está pautado em evidências empíricas que indicam que os métodos utilizados para atribuir a classe alcança o propósito declarado (TWEEDY; VANLANDEWIJCK, 2014). Assim, no ano de 2015 o IPC lançou o código de classificação, que está vigente atualmente (IPC Athlete Classification Code, 2015). Esse código consiste em uma base para que as federações internacionais de cada modalidade adequem seus sistemas de classificação. Através desse código, o IPC e estimula a busca por um sistema de classificação baseada em evidência. Esse objetivo pode ser alcançado através do alinhamento com as pesquisas científicas na área. Alguns autores têm investigado a relação da classe funcional e parâmetros que podem estar ligados à classificação, como é o caso do desempenho esportivo através do comparativo com testes de habilidades e funcional (DE WITTE *et al.*, 2017; TACHIBANA *et al.*, 2019; VAN DER SLIKKE *et al.*, 2017, 2018a, 2018b, 2020) e da força muscular de membros superiores e tronco (ALTMANN *et al.*, 2016, 2017; BORREN *et al.*, 2014; HYDE *et al.*, 2016). Essas pesquisas dão suporte e subsídios para atualizações nos sistemas de classificação.

1.1.2. Características da classificação do basquete em cadeira de rodas

O sistema de classificação do basquete em cadeira de rodas da IWBF foi proposto e desenvolvido pelo Alemão Horst Strohkendl e evoluído ao longo dos anos (IWBF Official Player Classification Manual, 2014). A classificação desse esporte tem pontuações que variam de 1.0 a 4.5, dessa maneira, quanto menor a pontuação do atleta, menor é a sua funcionalidade. Com o objetivo de igualar o potencial funcional de cada equipe em uma competição, a somatória da pontuação de classificação dos atletas em quadra, de cada equipe, não pode ultrapassar quatorze pontos (IWBF Official Player Classification Manual, 2014).

Nesse sistema, existem quatro fatores principais que determinam a classificação de um jogador: funções de tronco; membros inferiores; membros superiores; e das mãos. Cada classe possui características que subsidiam a tomada de decisão. Nesse sentido, um aspecto que é observado é o volume de ação de cada jogador, que pode ser descrito como a capacidade de o atleta realizar movimentos de tronco de forma voluntária em todos os planos (rotação, inclinações laterais, flexão e extensão) e retornar a posição sentada ereta sem utilizar ajuda das mãos para retornar ao posicionamento. Cada classe tem diferentes volumes de ação (IWBF Official Player Classification Manual, 2014).

Existem situações em que o jogador não parece encaixar exatamente em uma classe, pois apresenta características de duas ou mais classes, quando isso ocorre são atribuídas pontuações de meio ponto (1.5, 2.5, 3.5), portanto, o atleta de 1.5 estaria classificado entre as categorias 1.0 e 2.0 e assim por diante. A classificação é pautada principalmente na observação do avaliador durante o treino de classificação e ao longo da competição. Desta forma, a classificação no basquete em cadeira de rodas é considerada pouco objetiva.

1.1.3. Utilização de sensores inerciais em testes com cadeira de rodas

“Sensores inerciais” referem-se à família de equipamentos que medem oscilações de um corpo no estado de inércia (em repouso ou movimento) (IOSA *et al.*, 2016). Os exemplos mais utilizados e conhecidos para análises de movimento humano

são o acelerômetro e o giroscópio, que registram aceleração linear e velocidade angular respectivamente (GHISLIERI *et al.*, 2019; IOSA *et al.*, 2016). Atualmente, com o advento da tecnologia, esses sensores são construídos em sistemas micro eletromecânicos (MEMS). Dessa maneira, esses sensores são miniaturizados e embutidos em placas de sistemas, presentes em diversas unidades sem fio e em smartphones e tablets. Além disso, a associação de dois ou mais sensores, é comumente chamada de unidade de medição inercial (IMU) (IOSA *et al.*, 2016).

Esses sensores inerciais têm sido utilizados para realizar análises de movimento em diferentes populações. Assim, pode ser aplicada também a usuários de cadeira de rodas. Mason (2014) investigaram a validade e a confiabilidade de um sensor inercial para avaliar o desempenho esportivo em quadra de atletas em cadeira de rodas. Para isso, os autores acoplaram um sensor inercial sem fio no eixo de uma cadeira de rodas esportiva e realizaram duas sessões separadas. O sensor foi testado em diversas velocidades em uma esteira refletindo os esportes na quadra (1,0 a 6,0 m/s). Os resultados encontrados que os sensores inerciais fornecem uma avaliação válida e confiável, com o viés sistemático e erros aleatórios absolutos sempre iguais ou abaixo de 0,058 m/s e 0,086 m/s, respectivamente, nas duas sessões. Além disso, os coeficientes de variação (% CV) sempre se mantiveram igual ou menor a 0,9 a qualquer velocidade, o que demonstra a boa confiabilidade do sensor (MASON; RHODES; GOOSEY-TOLFREY, 2014).

Shepherd (2018) realizaram uma revisão literatura que informa uma diretriz operacional para medição de propulsão por sensor inercial em esportes de cadeira de rodas em quadra. Constataram que IMUs podem ser utilizados em diferentes ambientes, possuem baixo custo e não são invasivos, o que os tornam vantajosos com relação a outros instrumentos de análise. Os autores apresentam ainda, os principais parâmetros a serem avaliados quando se trata de desempenho de atletas em cadeira de rodas, alguns exemplos são: manuseio e habilidade; velocidade de rotação; aceleração; velocidade e energia de entrada (SHEPHERD *et al.*, 2018).

Além da avaliação de desempenho, estudos também têm utilizado sensores inerciais como instrumento de avaliação para classificação baseada em evidência de esportes em cadeira de rodas. O estudo de van der Slikke *et al.* (2018), demonstra como os sensores inerciais podem ser utilizados na classificação funcional dos atletas. Para isso, aplicaram o teste de campo e de habilidades para avaliar medidas de desempenho e identificaram uma clara relação entre classificação e nível de desempenho coletados

com o sensor (VAN DER SLIKKE *et al.*, 2018a). Estes estudos fornecem embasamento e direcionamentos para a utilização dos sensores inerciais, durante a classificação funcional de um atleta usuário de cadeira de rodas e está alinhado ao conceito de classificação baseada em evidência.

1.1.4. Objetivos

Assim, esta dissertação trata da utilização de tecnologias, principalmente sensores inerciais, no processo de classificação esportiva de esportes em cadeira de rodas. O enfoque principal foi no basquete em cadeira de rodas, e o objetivo principal foi investigar a utilização de se sensores inerciais no processo de classificação esportiva do basquete em cadeira de rodas.

Para isso, esta dissertação foi escrita no modelo de agregado de artigos. Sendo dividida em três partes principais: 1) Primeiro artigo, caracterizado como uma revisão de literatura no qual investigamos o uso de tecnologias na classificação de esportes em cadeira de rodas; 2) O segundo artigo é caracterizado como um estudo analítico observacional com abordagem transversal em que avaliamos a utilização de sensores inerciais na classificação esportiva do basquete especificamente e 3) Conclusão geral da dissertação.

Na forma como se apresenta, esta dissertação segue uma estrutura lógica, partindo do macro em que se aborda diversas tecnologias aplicadas a esportes em cadeira de rodas (revisão de literatura – artigo 1) e culminando no específico falando de sensores inerciais no basquete em cadeira de rodas (estudo transversal – artigo 2). Ao longo de todo trabalho são discutidos pontos importantes e atuais dentro do esporte paralímpico. Acreditamos que a investigação desses pontos nos trará respostas e *insights* de como melhorar e aprimorar o meio esportivo, aproximando a ciência da prática.

2. ARTIGO 1: CLASSIFICAÇÃO BASEADA EM EVIDÊNCIAS NOS ESPORTES EM CADEIRA DE RODAS: UMA REVISÃO DE LITERATURA

2.1. RESUMO

A classificação tem um impacto significativo no desempenho bem-sucedido nos jogos paralímpicos. A pouca objetividade das avaliações pode levar a classificações errôneas, alocando atletas nas classes onde eles teriam vantagens ou desvantagens. Nesse sentido, a classificação baseada em evidências tem ganhado força nos últimos anos. Por isso o objetivo desta revisão é responder às seguintes questões: Que tipo de teste de classificação baseado em evidências está sendo discutido para esportes paralímpicos em cadeira de rodas? Que tipo de ferramenta a pesquisa usa para quantificar esses testes de classificação baseados em evidências? Para isso foi realizada uma revisão sistemática nas bases de dados PubMed e ScienceDirect. Os principais parâmetros encontrados nos estudos foram força muscular de membros superiores e tronco; e medidas de desempenho de mobilidade, especialmente velocidade. Os principais testes realizados por esses estudos foram testes de força isométrica, testes de inclinação, sprints e testes de aceleração. Os instrumentos mais utilizados nos estudos foram células de carga e dinamômetros, sistemas de vídeo, dispositivos a laser, plataformas de força e sensores inerciais. As ferramentas biomecânicas são aliadas importantes para a classificação baseada em evidências. Testes de classificação com equipamentos e sensores que fornecem medidas objetivas de parâmetros permitem validar testes de campo simples e obter valores confiáveis sobre tais parâmetros durante a classificação de atletas.

Palavras-chave: Classificação Baseada em Evidências; Esportes paralímpicos; Esportes em cadeira de rodas.

2.2. INTRODUÇÃO

Atualmente, existem 22 esportes paralímpicos de verão e 11 deles são modalidades de cadeira de rodas: rúgbi em cadeira de rodas, basquete em cadeira de rodas, para atletismo, tênis em cadeira de rodas, tênis de mesa, para badminton, esgrima em cadeira de rodas, para triathlon, tiro com arco, tiro esportivo e bocha (“Paralympic Sports - List of Para Sports and Events”, 2020). Os esportes em cadeira de rodas são praticados principalmente por pessoas com lesão medular, amputação de membros inferiores, malformação de membros inferiores e outros distúrbios que afetam principalmente os membros inferiores (ou seja, alterações na força muscular, tônus, amplitude de movimento dos membros inferiores e diferença no comprimento das pernas)(Classification Model Rules for Para Sports, 2017).

Em vista do *fair play*, a deficiência dos atletas deve ser avaliada e classificada (VANLANDEWIJCK; VERELLEN; TWEEDY, 2011). As federações de cada esporte, regulamentadas pelo Comitê Paralímpico Internacional, têm suas próprias regras de classificação funcional. A classificação esportiva é um processo subjetivo-quantitativo que distribui atletas da mesma categoria esportiva em classes com base em suas habilidades funcionais (VANLANDEWIJCK; VERELLEN; TWEEDY, 2011). As regras de classificação para cada esporte paralímpico em cadeira de rodas têm semelhanças, mas cada esporte tem suas próprias características de avaliação e classes funcionais.

A classificação tem um impacto significativo no desempenho bem-sucedido nos jogos paralímpicos (TACHIBANA *et al.*, 2019). A pouca objetividade das avaliações pode levar a classificações errôneas, alocando atletas nas classes onde eles teriam vantagens ou desvantagens (VAN DER SLIKKE *et al.*, 2018b). Nesse sentido, a classificação baseada em evidências (CBE) tem ganhado força nos últimos anos. O objetivo de um sistema CBE é realizar uma classificação inequívoca com evidências empíricas baseadas em métodos quantitativos.

Nossas perguntas sobre este tópico são: que tipo de testes de CBE são discutidos para esportes paralímpicos em cadeira de rodas? Que tipos de ferramentas são usados para quantificar esses testes de CBE? Assim, o objetivo desta revisão sistemática foi discutir que tipo de testes quantitativos, com base em técnicas de análise de movimento

(por exemplo, medidas inerciais, análise de vídeo etc.), são aplicados para a CBE em esportes paralímpicos em cadeira de rodas.

2.3. MÉTODOS

2.3.1. Considerações preliminares

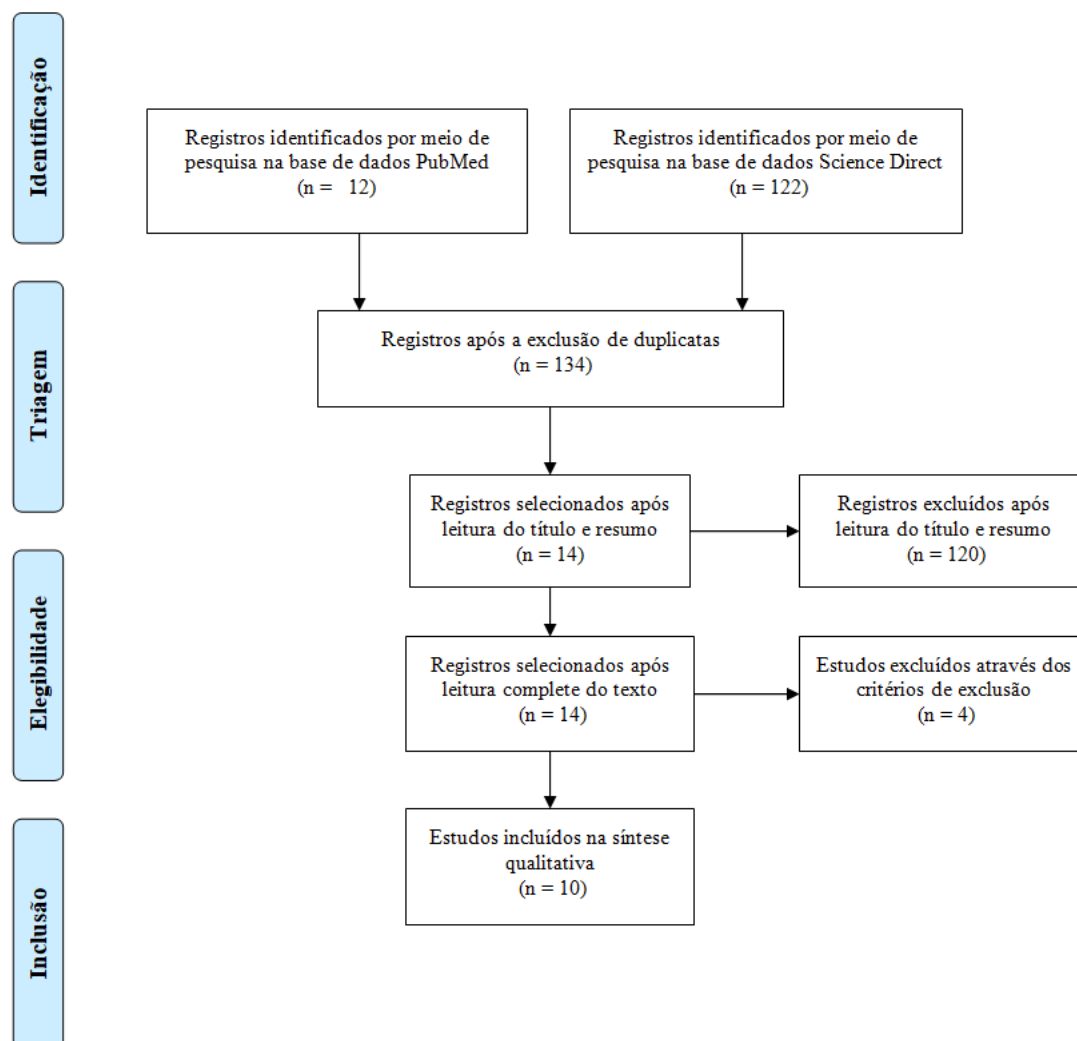
Este estudo foi apresentado de acordo com os itens de Relatório Preferencial para Revisões Sistemáticas e Meta-análise (Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses - PRISMA) (MOHER *et al.*, 2009) e foi registrado no Registro Prospectivo Internacional de Revisão Sistemática (PROSPERO; https://www.crd.york.ac.uk/prospero/display_record.php?ID=CRD42020166767) em 28/04/2020 (número de registro CRD42020166767) (BOOTH *et al.*, 2012). A pergunta do estudo foi baseada na seguinte estratégia do PICO: (i) Participantes: atletas em cadeira de rodas; (ii) Intervenção: Pesquisa sobre classificação baseada em evidências; (iii) Comparação: dados descritivos sobre classificação baseada em evidências; (iv) Resultados: principais testes e instrumentos utilizados para tornar a classificação funcional dos esportes paralímpicos mais objetivos.

2.3.2. Critérios de elegibilidade

Para serem incluídos, os manuscritos deveriam apresentar: (i) estudos transversais escritos em inglês; (ii) metodologias para quantificação do desempenho em esportes em cadeira de rodas; (iii) dados quantitativos da classificação baseada em evidências nos esportes em cadeira de rodas; e (iv) avaliação do movimento em atletas paralímpicos. Os estudos foram excluídos se atendessem aos seguintes critérios: (i) documentos de conferências; (ii) estudos duplicados; (iii) estudos que aplicaram a classificação baseada em evidências de esportes paralímpicos sem cadeira de rodas; e (iv) de acordo com as recomendações da Cochrane para a formulação de revisões sistemáticas, estudos de caso e revisões também foram excluídos (HIGGINS; GREEN, 2008).

2.3.3. Estratégia de busca

As pesquisas em inglês foram realizadas nas bases de dados eletrônicas PubMed/Medline e ScienceDirect, desde o início em junho de 2020. Os artigos foram recuperados do PubMed/Medline por meio da seguinte estratégia de pesquisa: (evidence-based classification) AND (wheelchair sports). Os artigos foram recuperados do ScienceDirect através da seguinte estratégia de pesquisa: ("evidence-based classification" OR classification) AND "wheelchair sports". Após as buscas, duplicatas foram excluídas e, em seguida, os artigos foram selecionados pela leitura dos títulos e resumos. Posteriormente, os critérios de inclusão foram aplicados (Figura 1). Os artigos foram selecionados de forma independente por dois pesquisadores. As discordâncias foram resolvidas por um terceiro pesquisador.

Figura 1 - Fluxograma PRISMA.

Fonte: A autora, adaptado de MOHER *et al.*, 2009.

2.3.4. Extração dos dados

A extração dos dados foi realizada em uma tabela pré-formatada contendo autor e ano do estudo, objetivo, esporte, amostra, parâmetro avaliado, testes, sensores e equipamentos utilizados e principais resultados para classificação.

2.3.5. Qualidade dos estudos

Os estudos foram avaliados por meio da ferramenta *Appraisal for Cross-Sectional Studies* (AXIS tool) (DOWNES *et al.*, 2016). Essa ferramenta é composta por vinte questões que avaliam a qualidade e o risco de viés de estudos transversais.

2.4. RESULTADOS

2.4.1. Estudos incluídos

Foram identificados 134 registros nos bancos de dados. No entanto, apenas 14 estudos foram selecionados para a leitura completa e os critérios de inclusão foram aplicados. Apenas quatro estudos não atenderam aos critérios de inclusão: 1 estudo foi uma revisão sistemática (MORRIËN; TAYLOR; HETTINGA, 2017); um foi uma seção de livro (UNGERER, 2018); um não tinha foco na classificação (VAN DER SLIKKE *et al.*, 2015); e, um utilizou pessoas sem deficiência. Finalmente, um total de 10 artigos foram incluídos nesta revisão (Figura 1). Em consideração a cronologia desses estudos, o primeiro estudo foi publicado em 2014 (BORREN *et al.*, 2014), dois em 2016 (ALTMANN *et al.*, 2016; HYDE *et al.*, 2016), quatro em 2017 (ALTMANN *et al.*, 2017; CONNICK *et al.*, 2017; SANTOS *et al.*, 2017; SQUAIR *et al.*, 2017), um em 2018 (VAN DER SLIKKE *et al.*, 2018b), um em 2019 (MASON *et al.*, 2019) e um em 2020 (VAN DER SLIKKE *et al.*, 2020) até a apresentação desta revisão.

2.4.2. Avaliação da qualidade

Por meio da avaliação da qualidade dos artigos, identificamos que para as 20 questões presentes na ferramenta AXIS, nenhum dos artigos relatou os itens 7, 9 (métodos) e 14 (resultados). Além disso, os itens três (métodos), 13 (resultados) e 19 (outros) foram negativos para todos os artigos. Em geral, todos os artigos apresentam boa qualidade metodológica, o que torna seus resultados confiáveis (Anexo 1).

2.4.3. Resumo dos estudos

Descobrimos que o rúgbi em cadeira de rodas era o esporte mais estudado (N = 8) (ALTMANN *et al.*, 2016b, 2017; BORREN *et al.*, 2014; HYDE *et al.*, 2017; MASON *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2017; SQUAIR *et al.*, 2017; VAN DER SLIKKE

et al., 2020), seguido pelo basquete em cadeira de rodas (N = 4) (ALTMANN *et al.*, 2017; HYDE *et al.*, 2017; VAN DER SLIKKE *et al.*, 2018b, 2020), Para atletismo (N = 1) (HYDE *et al.*, 2017), corrida em cadeira de rodas (N = 1) (CONNICK *et al.*, 2017) e Tênis em cadeira de rodas (N = 1) (VAN DER SLIKKE *et al.*, 2020). Alguns dos artigos avaliaram mais de um esporte (ALTMANN *et al.*, 2017; HYDE *et al.*, 2017; VAN DER SLIKKE *et al.*, 2020). Em relação à CBE, os principais instrumentos utilizados para realizar as avaliações foram: células de carga e dinamômetro (N = 3) (ALTMANN *et al.*, 2017; CONNICK *et al.*, 2017; MASON *et al.*, 2019); sistemas de vídeo (N = 3) (BORREN *et al.*, 2014; CONNICK *et al.*, 2017; HYDE *et al.*, 2017); dispositivo a laser (N = 2) (ALTMANN *et al.*, 2016b; CONNICK *et al.*, 2017); plataforma de força (N = 1) (SANTOS *et al.*, 2017); e sensores inerciais (N = 2) (VAN DER SLIKKE *et al.*, 2018b, 2020). Os testes mais utilizados foram: os testes de força isométrica (N = 4) (ALTMANN *et al.*, 2017; CONNICK *et al.*, 2017; HYDE *et al.*, 2017; MASON *et al.*, 2019); testes de inclinação da cadeira de rodas (N = 2) (ALTMANN *et al.*, 2016b, 2017); sprints (N = 2) (ALTMANN *et al.*, 2016b; CONNICK *et al.*, 2017); aceleração (N = 2) (ALTMANN *et al.*, 2016b, 2017); testes de partida e campo (N = 2) (VAN DER SLIKKE *et al.*, 2018b, 2020); teste de passes (N = 1) (BORREN *et al.*, 2014); teste de arremesso (N = 1) (HYDE *et al.*, 2017); e teste de inclinação do tronco (N = 1) (SANTOS *et al.*, 2017). Algumas das variáveis computadas foram: força (N = 4) (ALTMANN *et al.*, 2017; CONNICK *et al.*, 2017; HYDE *et al.*, 2017; MASON *et al.*, 2019); valores de velocidade e aceleração (N = 2) (VAN DER SLIKKE *et al.*, 2018b, 2020); altura de inclinação da cadeira (N = 2) (ALTMANN *et al.*, 2016b, 2017); e limites de estabilidade sentado (LoS) (N = 1) (SANTOS *et al.*, 2017).

Tabela 1 - Revisão dos artigos

Estudo	Objetivo	Modalidade /Amostra	Testes de avaliação	Equipamentos	Variáveis	Principais resultados para classificação baseada em evidências
(Borren et al., 2014)	Analisar atletas de rúgbi em cadeira de rodas enquanto executam diferentes técnicas de passe e comparar atletas de diferentes classes.	Rúgbi em cadeira de rodas / 15 atletas	Chest pass; Impact pass; Overarm pass e Sidearm pass.	Análise cinemática (Câmeras de vídeo).	Força de arremesso, potência e velocidade para cada uma das técnicas de passe.	O grupo sem função de tríceps teve passe médio de 3,5m e o grupo com função de tríceps teve de 8m. Desta forma, atletas com classes mais altas tiveram melhores resultados do que atletas com classes baixas. Além disso, o estudo mostrou que a classificação atual teve boa correlação com o que foi encontrado no estudo.
(Hyde et al., 2016)	Investigar a influência da vara de apoio, configuração do assento e força da parte superior do corpo e do tronco durante arremessos sentados em atletas com lesão medular (LM).	Rúgbi em cadeira de rodas, basquete em cadeira de rodas e para atletismo / 10 atletas.	Lançamento sentado e testes de força.	Análise cinemática (Câmeras de vídeo); Dinamômetro; Célula de carga.	Dados cinemáticos 3D foram coletados (150 Hz) para ambas as condições usando configurações de assento padronizadas e auto selecionadas. A força de preensão dominante e não dominante foi medida usando um dinamômetro, e a força da parte superior do corpo e do tronco foi medida usando contrações isométricas contra uma célula de carga.	Os atletas tiveram melhor desempenho quando usaram uma vara de apoio. A configuração do assento não teve influência no desempenho. As medidas de força de preensão foram significativamente correlacionadas com a velocidade do arremesso. Esses resultados contribuem para a investigação da classificação baseada em evidências.
(Altmann et al., 2016)	Avaliar o impacto do comprometimento do tronco, usando a Classificação de comprometimento do tronco (TIC) no desempenho.	Rugby em cadeira de rodas / 55 atletas:	Teste de sprint de 10m; Teste de giro; Teste de inclinação; Teste de aceleração inicial máxima; Teste de acerto.	Sensores infravermelhos; Um sensor (AMR Sports).	Teste de sprint de 10m: tempo para realizar o (s) teste (s). Teste de virada: tempo para cobrir a distância de 10m [s]. Teste de inclinação: altura de inclinação [mm]. Teste de aceleração inicial máxima [m / s ²]. Teste de acerto: Distância [m] necessária para atingir uma diferença de 81 cm entre os atletas por pontuação de TIC; e, momentum de sprint [kg * m / s].	O estudo demonstrou que o comprometimento do tronco tem um impacto na aceleração nos primeiros 2 metros, então podemos inferir que atletas com comprometimento limitado do tronco são mais proficientes no rúgbi em cadeira de rodas do que atletas com comprometimento severo do tronco.

Legenda: Esta tabela apresenta as principais informações dos artigos que foram selecionados para esta revisão.

Tabela 2 - Revisão dos artigos (continuação).

Estudo	Objetivo	Modalidade /Amostra	Testes de avaliação	Equipamentos	Variáveis	Principais resultados para classificação baseada em evidências
(Santos et al., 2017)	Eles avaliaram a influência da classificação do rúgbi em cadeira de rodas (WR) e do nível competitivo na função do tronco por meio de limites de estabilidade sentado (LoS).	Rúgbi em cadeira de rodas /28 atletas dividido em três grupos seguindo as categorias da IWRf: um grupo de ponto baixo (0,5-1,5) N = 8; um grupo de ponto médio (2,0-2,5) N = 14; e um grupo de ponto alto (3,0-3,5) N = 6.	Os sujeitos tiveram que se sentar em um bloco de madeira, inclinando-se e esticando o corpo o máximo possível em oito direções pré-definidas. A pesquisa organizou todas as oito direções em forma de diamante, separando-as em intervalos de 45 graus.	Plataforma de força.	Os limites de estabilidade sentados (LoS) foram calculados como a área da elipse ajustada para a excursão máxima do COP alcançada em cada uma das oito direções.	Jogadores com pontos altos tinham um limite maior de estabilidade sentada (LoS) quando comparados aos jogadores com pontos baixos. LoS pode ser uma forma válida de avaliação para comprometimento do tronco, o que contribui para a classificação baseada em evidências.
(Connick et al., 2017)	Validar testes de força isométrica e analisar se as medidas de força podem ser usadas para classificar atletas.	Corrida em cadeira de rodas / 32 atletas.	Testes de força isométrica máxima: extensão do braço (direita e esquerda), extensão combinada do braço + flexão do tronco, flexão isolada do tronco. Pronação do antebraço combinada com força de preensão (direita e esquerda). Desempenho em corrida em cadeira de rodas	Célula de carga tipo S; Unidade Muscledab; Câmera de vídeo; Dartfish Prosuíte; Dinamômetro T; Dispositivo laser.	Testes de força isométrica: força de pico Desempenho em corrida: velocidade máxima (0-15m) (m / s), velocidade máxima (absoluta) (m / s).	Todos os seis testes de força se correlacionaram com o desempenho (r = 0,54-0,88). Por meio da análise de cluster, 4 classes foram identificadas e para 6 atletas a alocação diferia de sua classe atual, as classes T53 e T54 não tiveram diferenças significativas em nenhum dos resultados de desempenho. Isso demonstra que talvez o sistema de classes adotado para este esporte precise ser revisado. Esses resultados contribuem para a classificação baseada em evidências de corrida em cadeira de rodas.
(Squair et al., 2017)	Estabelecer um protocolo de teste autônomo ideal para prever a capacidade cardiovascular durante a competição de rúgbi em cadeira de rodas.	Rúgbi em cadeira de rodas / 26 atletas.	Nível neurológico e integridade da lesão. Completo autônomo da lesão. Repouso hemodinâmico. Teste de desafio ortostático. Teste de pressão fria. Desempenho de exercícios em competição.	Padrões Internacionais para Classificação Neurológica de Lesões da Medula Espinal (ISNCSCI); Eletrodos de respostas simpáticas da pele (SSRs). Eletrocardiografia de uma derivação; Manguito de pressão arterial (PA) automatizado.	Pontuação motora para membros superiores e inferiores (em uma escala de 0-5). Respostas simpáticas da pele (em uma escala de 0-2). Medida dos SSRs da estimulação do nervo mediano. Repouso hemodinâmico (frequência cardíaca (FC)). Intolerância ortostática. Teste frio = mudanças na PA e FC com mudança de temperatura. Pico de FC durante a competição	Mudanças na pressão arterial sistólica durante o teste de desafio ortostático e TCP de pé e mão se correlacionaram significativamente com a resposta cardiovascular em competição. Os resultados demonstram a importância de incorporar as avaliações da capacidade cardiovascular na classificação para garantir competições mais equitativas.

Legenda: Esta tabela apresenta as principais informações dos artigos que foram selecionados para esta revisão.

Tabela 3 - Revisão dos artigos (continuação).

Estudo	Objetivo	Modalidade /Amostra	Testes de avaliação	Equipamentos	Variáveis	Principais resultados para classificação baseada em evidências
(Altmann et al., 2017)	Avaliar a relação entre o comprometimento da força do tronco e o desempenho no Rúgbi em Cadeira de Rodas por meio do conceito de “classes naturais”.	Rúgbi em cadeira de rodas e basquete em cadeira de rodas / 27 atletas	Teste de força muscular isométrica máxima do tronco (três direções: para frente, para a esquerda e para a direita). Limitação de atividade: Teste de inclinação (levantar a roda não fixa do chão usando suas pernas, e teste de aceleração do tronco (realizar a aceleração máxima, mantendo a velocidade por 3 a 5 me depois desacelerar)	Célula de carga; Cheetah LMT.	Teste de força muscular isométrica máxima do tronco: força isométrica média (N). Teste de inclinação: A altura da inclinação (diferença entre H1 e H0 (mm)). Teste de aceleração: Deslocamento da cadeira de rodas (m) e tempo (s).	A altura de inclinação teve correlações significativas com a força esquerda, força direita, força frontal e aceleração. A análise de cluster demonstrou haver pelo menos um ponto de corte no desempenho, apoiando o conceito de "classes naturais". A Força do tronco desempenha um papel fundamental na classificação deste esporte.
(Van der Slikke et al., 2018)	Avaliar se as medições com sensores inerciais podem oferecer um ponto de vista alternativo para classificação.	Basquete em cadeira de rodas / 76 atletas	Primeiro grupo: partida. Segundo grupo: teste de campo padronizado.	Sensores inerciais	Seis resultados principais do desempenho da cadeira de rodas: Velocidade média (m / s). Melhor velocidade média (m / s). Aceleração média (m / s ²). Velocidade média de rotação (m / s ²). Melhor velocidade de rotação média (° / s). Aceleração rotacional média (° / s)	Atletas de classe baixa apresentaram resultados inferiores de desempenho quando comparados a atletas de classe média, porém não houve diferenças entre atletas de classe média e de classe alta. O Two Step revelou dois clusters, um de classe baixa e outro de classe média / alta, sendo os preditores mais importantes do modelo os resultados do movimento para frente. Esses resultados demonstram a possibilidade de revisão das aulas de basquete.
(Mason et al., 2020)	Validar e testar a confiabilidade de uma bateria de testes de força isométrica uniarticular, para a classificação baseada em evidências no rúgbi em cadeira de rodas (WR).	Rúgbi em cadeira de rodas / 20 atletas (WR) e 30 participantes saudáveis (AB)	Os participantes sentados realizaram uma bateria de testes de força isométrica: flexão e extensão de ombro e flexão e extensão de cotovelo	Célula de carga tipo S; MuscleLab.	Força isométrica de pico (N)	A bateria de testes revelou que há um aumento da resistência à flexão ao redor do ombro e cotovelo. Além disso, a bateria de teste obteve boa confiabilidade. Assim, os resultados sugerem que a bateria de testes pode ser utilizada para inferir com segurança o comprometimento da força em atletas de RW. Apoiar um sistema de classificação baseado em evidências.

Legenda: Esta tabela apresenta as principais informações dos artigos que foram selecionados para esta revisão.

Tabela 4 - Revisão dos artigos (continuação).

Estudo	Objetivo	Modalidade /Amostra	Testes de avaliação	Equipamentos	Variáveis	Principais resultados para classificação baseada em evidências
van der Slikke et al., 2020	Aplicar o Monitor de Desempenho da Mobilidade em Cadeira de Rodas (WMP) aos atletas para identificar os fatores e resultados que têm impacto na classificação e no desempenho.	Basquete em cadeira de rodas (BCR), tênis em cadeira de rodas (TCR) e rúgbi em cadeira de rodas (RCR) /29 atletas da BCR; 32 atletas do RCR; 15 atletas TCR.	Os atletas foram avaliados durante as partidas competitivas em cada para esporte	Sensores inerciais	Velocidade média (m / s); Melhor velocidade média (m / s); Aceleração média nos primeiros 2 m da paralisação (m / s ²); Velocidade média de rotação durante uma curva (m / s); Melhor velocidade de rotação média durante uma curva no local (m / s); Aceleração rotacional média (m / s ²).	O BCR obteve melhores resultados de desempenho no WMP, seguido pelo TCR e por último o RCR. Em todos os esportes, uma quantidade substancial de tempo, ~ 10% foi gasta em velocidade reversa. Por meio dos resultados encontrados neste trabalho foi possível identificar que a intensidade é um fator importante para programas de treinamento de BCR, bem como a manobrabilidade para TCR e o nível de incapacidade para RCR.

Legenda: Esta tabela apresenta as principais informações dos artigos que foram selecionados para esta revisão.

2.5. DISCUSSÃO

A CBE visa tornar a classificação nos esportes paralímpicos mais precisa por meio de testes e medidas. Para isso, é importante 1) selecionar os parâmetros mais relevantes a serem avaliados e as condições para a avaliação; 2) escolher instrumentos e testes adequados para avaliar tais parâmetros; 3) fornecer valores objetivos para auxiliar na tomada de decisão sobre a escolha de classe de um atleta. Nesse sentido, nossos achados fornecem informações, como: 1) a maioria dos estudos cita a força muscular de membros superiores e de tronco e medidas de desempenho de mobilidade (principalmente velocidade) como parâmetros principais; 2) a maioria dos estudos realiza os seguintes testes: testes de força isométrica; testes de inclinação; corrida; e aceleração; 3) a maioria dos estudos utiliza os seguintes instrumentos: células de carga e dinamômetro; sistemas de vídeo; dispositivo a laser; plataforma de força; e sensores inerciais.

2.5.1. Visão geral dos esportes em cadeira de rodas e do sistema de classificação

Os para esportes apresentados nos artigos foram o basquete em cadeira de rodas, rúgbi em cadeira de rodas, para atletismo e tênis em cadeira de rodas. Embora esses para esportes tenham características bastante diferentes, eles possuem características semelhantes em seus aspectos de classificação. Em geral, o sistema de classificação dos esportes em cadeira de rodas avalia o tronco e os membros superiores e inferiores dos atletas. Rúgbi em cadeira de rodas, basquete em cadeira de rodas e tênis em cadeira de rodas avaliam as funções dos membros inferiores como um critério de elegibilidade: os atletas elegíveis para competição têm pelo menos uma deficiência em seus membros inferiores que os impede de jogar em pé (IWBF Official Player Classification Manual, 2014). Uma vez que existem várias categorias de competição dentro do para-atletismo, a função dos membros inferiores de um atleta determina sua classificação. Neste esporte, os atletas não precisam ter comprometimento obrigatório de membros inferiores, como em algumas provas do atletismo são competidas por atletas com comprometimento de membros superiores (WPA Classification Rules and Regulations, 2018). Van der Slikke *et al.* demonstraram em seu manuscrito uma relação clara entre classificação funcional e desempenho (VAN DER SLIKKE *et al.*, 2018a). Quanto mais alta a classe do atleta,

melhor seu desempenho em testes de avaliação de habilidade e em testes de campo. Nesse sentido, a utilização desses testes durante o processo de classificação poderia auxiliar os classificadores na tomada de decisão.

As classificações relativas a todos os quatro esportes mencionados acima são baseadas na função do tronco e dos membros superiores dos atletas. O sistema de classificação atual do rúgbi em cadeira de rodas - que é praticado por atletas tetraplégicos ou com deficiências equivalentes - consiste em sete classes que variam de 0,5 a 3,5 (IWRF Classification Manual, 2015). O sistema de classificação do basquetebol em cadeira de rodas - praticado por atletas com deficiência motora ou física - possui classes que variam de 1,0 a 4,5 (IWBF Official Player Classification Manual, 2014). No para-atletismo, existem duas categorias de competição: eventos de pista e provas de arremesso. Atletas com alteração da coordenação motora podem se enquadrar nas classes T32 - T34 (pista) e F31 - F34 (arremesso). Atletas com deficiência de membros ou alterações na força muscular podem se enquadrar nas classes T51 - T54 (pista) e F51 - F57 (arremesso) (WPA Classification Rules and Regulations, 2018). Para se qualificar para o tênis em cadeira de rodas, os atletas precisam ter dificuldade de locomoção. Existem duas classes de tênis em cadeira de rodas: *Open* e *Quad* (Wheelchair Tennis Classification Rules, 2019).

Um sistema de classificação não consiste simplesmente em verificar quem é elegível para competir. Ele fornece uma estrutura que controla e/ou mitiga o impacto da deficiência de um atleta nos resultados finais de uma competição, estabelecendo classes adequadas para cada esporte (TWEEDY; VANLANDEWIJCK, 2014).

2.5.2. Parâmetros avaliados e testes

Vários parâmetros podem tornar a classificação mais precisa, permitindo a classificação baseada em evidências: força, velocidade, aceleração, distância percorrida e angulações - todos descritos nos estudos listados acima. Os testes são necessários para oferecer medidas objetivas e confiáveis sobre tais parâmetros, uma vez que sua perda ou comprometimento está relacionado à gravidade da deficiência.

Estudos focados na análise de força mostraram que a força muscular (membro superior e tronco) está fortemente relacionada ao desempenho esportivo (Altmann *et al.*, 2016, 2017; Borren *et al.*, 2014; Hyde *et al.*, 2016; Mason *et al.*, 2020). Portanto,

recomenda-se a avaliação da força existente que cada indivíduo possui e assim inferir o quanto a força foi prejudicada (BECKMAN; CONNICK; TWEEDY, 2017). Assim, tanto os testes isométricos multiarticulares em ângulos articulares que facilitam a produção de força máxima (Altmann *et al.*, 2017; Beckman *et al.*, 2017; Mason *et al.*, 2020) e os testes de passe (Borren *et al.*, 2014; Hyde *et al.*, 2016) parecem adequados para avaliar a força muscular. Além disso, a força do tronco está relacionada à capacidade de realizar inclinações laterais e flexão/extensão do tronco, diretamente ligada às classes esportivas. Santos *et al.* demonstraram como as plataformas de força avaliam objetivamente o tronco usando dados do centro de pressão (COP) e limites sentados de estabilidade (LoS) coletados por meio de testes de inclinação do tronco em oito direções diferentes. Roldan *et al.* avaliaram o controle de tronco em atletas de bocha por meio da escala de tronco BISFEed e de uma bateria de testes posturográficos composta por duas tarefas estáticas e dinâmicas. O BISFed TFS não foi capaz de discriminar as classes esportivas, porém as tarefas posturográficas foram capazes de discriminar as classes ($p = 0,004$). Concluíram que é necessário desenvolver novos testes de campo para avaliar a estabilização do tronco (ROLDAN *et al.*, 2020).

Da mesma forma, a velocidade está intimamente ligada à aceleração e ambas se relacionam ao bom desempenho em esportes que exigem o movimento da cadeira de rodas mantendo a velocidade máxima e a capacidade de responder com aceleração rápida após a frenagem (GOOSEY-TOLFREY; MASON; BURKETT, 2012). Testes como agilidade de Illinois (RIETVELD *et al.*, 2019; USMA-ALVAREZ *et al.*, 2010), teste de velocidade de 20 metros (DE GROOT *et al.*, 2012; RIETVELD *et al.*, 2019), teste de aranha e teste de velocidade borboleta (Rietveld *et al.*, 2019) tem como objetivo analisar essas variáveis medindo a capacidade de um atleta de entregar uma tarefa no menor tempo possível (alta velocidade e alta aceleração). Squair *et al.*, 2017, os testes de capacidade cardiovascular propostos seriam uma ferramenta interessante em relação ao rúgbi em cadeira de rodas. O estudo observou que uma mudança na pressão arterial sistólica (PAS) durante um teste de desafio ortostático foi correlacionada com o pico de FC em competição. Esse achado é realmente relevante: as funções cardiovasculares podem ser um fator limitante em um esporte aerobiamente exigente, como o rúgbi em cadeira de rodas. Incluir avaliações cardiovasculares na classificação desses atletas pode ajudar a garantir a igualdade de condições, evitando vantagens ou desvantagens relacionadas ao mau controle cardiovascular. No entanto, apesar da importância dessa medida, sua aplicabilidade continua sendo um desafio para a CBE, pois é difícil

discriminar entre capacidade cardiovascular e falta de treinamento, por isso o uso dessas medidas para CBE merece maiores investigações. Este parâmetro não está incluído no processo de classificação atual deste para-esporte.

2.5.3. Instrumentos

É necessário destacar a importância da utilização de equipamentos que forneçam medidas confiáveis para objetivar avaliações. Esta revisão observou que os principais equipamentos utilizados pela literatura na CBE do esporte em cadeira de rodas são equipamentos para análise de força, unidades de medida inercial, sensores infravermelhos, sistemas de vídeo e plataformas de força.

Os pesquisadores usam sistemas baseados em vídeo (2D ou 3D) para análises biomecânicas. A resolução da imagem, a resolução temporal e a taxa de quadros por segundo são características que os pesquisadores precisam considerar ao analisar o vídeo. Frequências de amostragem ≥ 120 Hz, por exemplo, fornecem imagens ricas em detalhes e permitem a realização de análises de movimento (SOUZA, 2016). Em esportes em cadeira de rodas, Borren *et al.* 2014 utilizou vídeo para analisar técnicas e trajetórias de arremesso. Os autores identificaram que atletas de classes mais baixas obtiveram resultados menores de velocidade e distância de arremesso quando comparados com atletas de classes mais altas. Esses resultados indicam que a velocidade e a distância do arremesso estão relacionadas à funcionalidade do atleta. Hyde *et al.* 2016 também usou o vídeo para analisar o arremesso. Os pesquisadores usaram um sistema de vídeo para quantificar a influência da configuração do assento e do uso de uma haste auxiliar. Por meio da análise de vídeo, os autores avaliaram a velocidade de lançamento e identificaram que atirar com uma haste auxiliar resultou em uma velocidade da mão significativamente maior do que atirar sem haste auxiliar e que não houve diferença significativa na velocidade da mão na liberação entre as configurações padrão e auto selecionados do assento durante a posição sentada com ou sem uma haste auxiliar. A velocidade de lançamento está ligada ao desempenho esportivo e ao comprometimento motor. Quantificar esse parâmetro como uma medida de avaliação pode auxiliar na tomada de decisão da classificação. O estudo também usou o vídeo como equipamento auxiliar para posicionar o tronco de um atleta e receber feedback em tempo real (Connick *et al.*, 2017). Os sistemas baseados em vídeo realizam

não apenas análises de inclinação, mas também análises de velocidade, aceleração e distância percorrida da cadeira de rodas. Corroborando com tal escopo, Connick *et al.* usaram laser para medir a velocidade da cadeira de rodas.

As pesquisas utilizaram equipamentos como células de carga e dinamômetros para avaliar a análise de torque. As células de carga são medidores de tensão que captam a força eletronicamente, amplificando e registrando-a em newtons. Esses dispositivos são sensíveis para avaliar a força do tronco e membros superiores em testes de força isométrica (STARK *et al.*, 2011; STEEVES *et al.*, 2019). Os dinamômetros isocinéticos são máquinas computadorizadas consideradas o padrão ouro na avaliação da força muscular, incluindo força de pico, resistência, potência, ângulo de força máxima. Porém, não são equipamentos acessíveis devido ao alto preço e dificuldade de mobilidade. O dinamômetro manual digital surge como alternativa. É usado para medir o torque isométrico e tem boa correlação com o método de referência (Stark *et al.*, 2011).

A unidade de medição inercial (IMU) é um dispositivo no qual os sinais de um acelerômetro, um giroscópio e, em alguns casos, um magnetômetro, são fundidos e usados em análises de movimento (KIANIFAR *et al.*, 2019; TOFT NIELSEN *et al.*, 2018). Van der Slikke *et al.* 2018a avaliaram se os sensores inerciais poderiam oferecer medidas alternativas para classificação no basquete em cadeira de rodas. Utilizando medidas de velocidade e aceleração da cadeira de rodas, o estudo verificou que atletas de classe alta (classe 4,0 - 4,5) apresentaram melhores resultados de desempenho quando comparados com atletas de classe baixa (classe 1,0 - 1,5). Além disso, os autores identificaram que atletas de classe média (classes 2.0 - 3.0) apresentaram resultados de desempenho semelhantes se comparados com atletas de alto nível. Isso indica que os atletas de classe média poderiam ser incorporados às classes altas, sugerindo que algumas classes de basquete em cadeira de rodas existentes seriam extintas se o processo de classificação fosse baseado em estudos mais profundos e eficientes. Van der Slikke *et al.* 2020 também usaram sensores inerciais para investigar quais são os aspectos mais importantes em relação ao desempenho da mobilidade da cadeira de rodas (WMP) para cada esporte. Os autores identificaram que o basquetebol em cadeira de rodas é o esporte que requer a maior intensidade de desempenho, enquanto no tênis em cadeira de rodas, a capacidade de manobra é um fator chave de desempenho. No rúgbi, os pesquisadores identificaram que o WMP está relacionado ao nível de comprometimento do atleta. Esses resultados podem ser usados diretamente

incorporados nas diretrizes de classificação e treinamento, trazendo mais ênfase em questões de intensidade para basquete em cadeira de rodas, focando a capacidade de manobra para tênis em cadeira de rodas e programas de treinamento baseados em nível de deficiência para rúgbi em cadeira de rodas. Além disso, os autores enfatizaram a importância do uso desses sensores em classificações futuras. Por meio de medidas como aceleração, velocidade e oscilação do tronco, é possível obter parâmetros de avaliação que podem ser incorporados ao sistema de classificação.

Pesquisas também utilizaram plataformas de força para obter medidas objetivas de equilíbrio. Tais medidas são baseadas no deslocamento do próprio centro de pressão, ou seja, o ponto de aplicação das forças verticais atuando sobre uma base de apoio (HARRO; GARASCIA, 2019). Santos *et al.* 2017 avaliaram se a classificação do rúgbi em cadeira de rodas e o nível competitivo influenciam a função do tronco de atletas com deficiência, no que diz respeito aos limites de estabilidade sentado (LoS) por meio do centro de pressão (COP). O estudo analisou o LoS através do teste de inclinação do tronco em oito direções diferentes. A pesquisa identificou que os LoS eram maiores em jogadores de classe alta (3,0–3,5) em comparação com atletas de classe baixa (0,5–1,5). Assim, o LoS pode ser uma avaliação válida do comprometimento do tronco, potencialmente contribuindo para o desenvolvimento de uma classificação baseada em evidências para o rúgbi em cadeira de rodas.

Os instrumentos descritos acima fornecem medidas que são úteis para gerar padrões de movimento e permitem que a análise se torne cada vez mais computacional. Menos interferência humana nas análises significa um risco reduzido de erros. Quanto menor a interferência humana, maior a objetividade de um estudo, possibilitando a classificação baseada em evidências. O aprendizado de máquina pode auxiliar esse processo, relatando padrões de movimento e gerando equações de predição com base em tais padrões (HEO *et al.*, 2019). No entanto, o primeiro passo a ser dado nessa direção é coletar dados adequadamente e interpretá-los corretamente dentro da biomecânica e análise de movimento para extrair parâmetros importantes para cada para-esporte. O desafio é tornar a classificação cada vez mais tecnológica, o que requer recursos e capacitação profissional para que os classificadores possam utilizar de forma eficiente os equipamentos de avaliação.

2.5.4. Desafios para implementar um sistema de classificação baseado em evidências

O caminho para uma classificação mais tecnológica esbarra em diversos fatores, como o investimento financeiro e a qualificação profissional. O que propomos neste estudo - além de proporcionar uma visão de um futuro em que será possível utilizar instrumentos tecnológicos ao longo do processo de classificação - é que os testes atualmente utilizados para a avaliação da classificação de atletas sejam validados e que proporcionem medidas confiáveis.

2.5.5. CBE: Testes isolados ou durante o jogo?

Como vimos ao longo do trabalho, a classificação dos esportes em cadeira de rodas caminha para o uso de evidências empíricas para apoiar a escolha das classes dos atletas. Essas evidências nos direcionam para a utilização de testes, sejam testes isolados ou de campo/jogo, além da possibilidade de usar tecnologia para auxiliar na decisão. Nessa perspectiva, quando analisamos testes isolados como testes manuais de força e avaliação de amplitude de movimento, eles avaliam domínios específicos (isolados) que, quando unidos, formarão um conjunto de informações que orientarão o classificador na sua tomada de decisão. Esse recurso é interessante para avaliar a elegibilidade para o esporte e talvez como um critério de diferenciação quando há dúvidas. Já os testes de habilidades e testes de campo/jogo nos fornecem informações sobre o desempenho do atleta, que já vimos estar intimamente ligado à classe funcional.

Esses testes seriam interessantes para classificar os atletas, porém há pontos a serem considerados. Atletas com mais tempo de prática em comparação com atletas com menos tempo, mas que estão na mesma classe poderiam apresentar desempenhos diferentes, o que causaria confusão no momento da classificação. Portanto, a combinação de testes isolados e testes de habilidades e campo/jogo parece ser um caminho adequado. Além disso, as tecnologias portáteis são de grande ajuda durante esses testes.

2.6. CONCLUSÃO

Este trabalho mostra o importante papel que a tecnologia tem dentro do processo de classificação com base em evidências. Utilizando instrumentos, podemos acessar medidas objetivas dos parâmetros avaliados no processo de classificação e validar testes simples que podem ser aplicados nas diretrizes de classificação. Além disso, estudos indicam que uma abordagem tecnológica vem aumentando na classificação dos esportes em cadeiras de rodas. As medições coletadas com os referidos instrumentos podem orientar e auxiliar as pesquisas durante o processo de classificação, mitigando o erro humano. O treinamento de classificadores também é essencial para trazer resultados confiáveis ao processo. Com o tempo, a inclusão de tecnologia adequada no processo de classificação levará as competições esportivas a um novo patamar.

3. ARTIGO 2: USO DE SENSORES INERCIAIS NO BASQUETE EM CADEIRA DE RODAS

3.1. RESUMO

Sensores inerciais fornecem informações objetivas que podem ser utilizadas para medir os padrões de movimento durante atividades funcionais e testes de habilidades. Estudos têm utilizado esses sensores para avaliar desempenho e classificação funcional no basquete em cadeira de rodas. Assim, o objetivo deste estudo foi apresentar a técnica de uso do sensor inercial para aplicação no processo de classificação esportiva do basquete em cadeira de rodas. Para isso realizamos um estudo transversal, em que 10 atletas de basquete em cadeira de rodas, de diferentes classes, realizaram o teste de velocidade máxima de 20 metros e o teste de agilidade de Illinois com três sensores inerciais posicionados na região posterior da cadeira, punho direito e região da coluna torácica. Em nossos resultados observamos que: 1) atletas de classes mais altas realizaram os testes de desempenho em menores tempos; 2) 16 variáveis apresentaram correlações significativas moderadas e fortes com a classe esportiva; 3) as variáveis coletadas com o sensor posicionado na cadeira de rodas apresentaram maior número de correlações fortes e moderadas com a classe esportiva e; 4) o teste de agilidade de Illinois apresentou mais variáveis correlacionadas com a classe esportiva quando comparado ao teste de velocidade máxima de 20 metros e o eixo anteroposterior de ambos os sensores apresentaram maior número de variáveis correlacionadas com a classe esportiva. Concluimos que embora nem todas as variáveis tenham demonstrado correlação com a classificação, acreditamos que sensores inerciais são uma boa alternativa para a avaliação no momento da classificação esportiva.

Palavras-chave: Acelerômetro; Giroscópio; Classificação baseada em evidência; Desempenho; Atletas paralímpicos.

3.2. INTRODUÇÃO

O basquete em cadeira de rodas é uma modalidade que esteve presente em todas as edições dos jogos paralímpicos, sendo mundialmente conhecido e um dos esportes mais populares do movimento paralímpico (SAVITZ, 2006). Nesta modalidade os atletas precisam realizar movimentos de propulsão, frenagem e giro da cadeira e habilidades como driblar, passar, pegar e arremessar a bola, em ritmo acelerado e com contato, possuindo as mesmas regras e dimensão de quadra do basquete olímpico (2021 Official Wheelchair Basketball Rules, 2021). A realização dessas habilidades está ligada à funcionalidade desse atleta, que irá depender do nível de comprometimento físico/motor do atleta.

A classe funcional de um atleta de basquete em cadeira de rodas é obtida através da observação do volume de ação e funcionalidade em quadra, dessa maneira são obtidas oito classes (1.0 – 4.5) (IWBF Official Player Classification Manual, 2014). Por utilizar essa observação em quadra como único método de classificação, muitas vezes o processo pode ser questionado. O Comitê Paralímpico Internacional (IPC) defende a classificação baseada em evidências, que é pautada na utilização de evidências empíricas para chegar à classe esportiva de um atleta (TWEEDY; VANLANDEWIJCK, 2014). Nesse sentido, a utilização de instrumentos tecnológicos pode ser uma alternativa para alcançar evidências empíricas e objetivas.

Sensores inerciais como os acelerômetros que medem aceleração linear e giroscópios que medem velocidade angular podem ser uma alternativa para análise do movimento (AL-AMRI *et al.*, 2018). Estes sensores quando comparados ao padrão ouro de análise de movimento, apresentam boa concordância e confiabilidade (CHUNG; NG, 2012). Seu uso abrange tanto ambientes clínicos, como também ambientes de campo, como a quadra de basquete. Além disso, fornecem informações objetivas que podem ser utilizadas para medir os padrões de movimento durante atividades funcionais e testes de habilidades, e é possível posicioná-los em diferentes segmentos corporais. Essa tecnologia já foi utilizada em alguns estudos que avaliaram desempenho e classificação funcional no basquete em cadeira de rodas (LAFERRIER *et al.*, 2012; VAN DER SLIKKE *et al.*, 2018a, 2018b, 2020).

Nesse sentido, a tecnologia de sensores inerciais é uma aliada na avaliação objetiva da classe esportiva de um atleta de basquete em cadeira de rodas. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é identificar a viabilidade de uso do sensor inercial para o processo de classificação esportiva do basquete em cadeira de rodas.

3.3. MÉTODOS

3.3.1. Caracterização do estudo

Este trabalho é caracterizado como estudo analítico observacional transversal e foi aprovado pelo comitê de ética em pesquisa do Instituto de Ciências da Saúde (ICS) da Universidade Federal do Pará (UFPA) (Código: 32019420.0.0000.0018). Além disso, todos os participantes leram e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido.

3.3.2. Amostra

O estudo incluiu 10 atletas de basquete em cadeira de rodas (média $\pm$ desvio padrão: 36.6 $\pm$ 9.1 anos), participantes da primeira e segunda divisão do basquete em cadeira de rodas no Brasil. A distribuição das classes esportivas dos participantes e as deficiências estão apresentadas na tabela 2. Vale ressaltar que a classe 3.0 não foi representada por nenhum dos atletas participantes.

Tabela 5 – Caracterização dos participantes da pesquisa

CARACTERÍSTICAS	N
Gênero	
Feminino	2
Masculino	8
Deficiência	
Lesão medular	2
Mal formação congênita de membros inferiores	3
Sequela por poliomielite	3
Amputação de membros inferiores	1
Artrogripose	1
Classe funcional	
1.0 – 1.5	3
2.0 – 3.5	4
4.0 – 4.5	3

3.3.3. Protocolo

Após aceitar participar da pesquisa, os sujeitos tiveram seus dados epidemiológicos coletados, em seguida os sensores inerciais foram acoplados na região posterior da cadeira, punho direito do participante e entre as vértebras torácicas T1 e T2 (figura 2). A cadeira foi escolhida para o posicionamento, pois foi utilizada em estudos anteriores (MASON; RHODES; GOOSEY-TOLFREY, 2014; USMA-ALVAREZ *et al.*, 2010; VAN DER SLIKKE *et al.*, 2018a, 2018b). Os locais de tronco e punho foram escolhidos pela sua relação com as atividades da modalidade. Logo depois, o participante era posicionado e então dois testes de habilidades foram realizados: Teste de velocidade máxima de 20 metros e Teste de agilidade de Illinois.

Figura 2 - Posicionamento do Sensor



Legenda: Sensor MMC posicionado em (A) coluna torácica, (B) punho direito e (C) região posterior da cadeira.

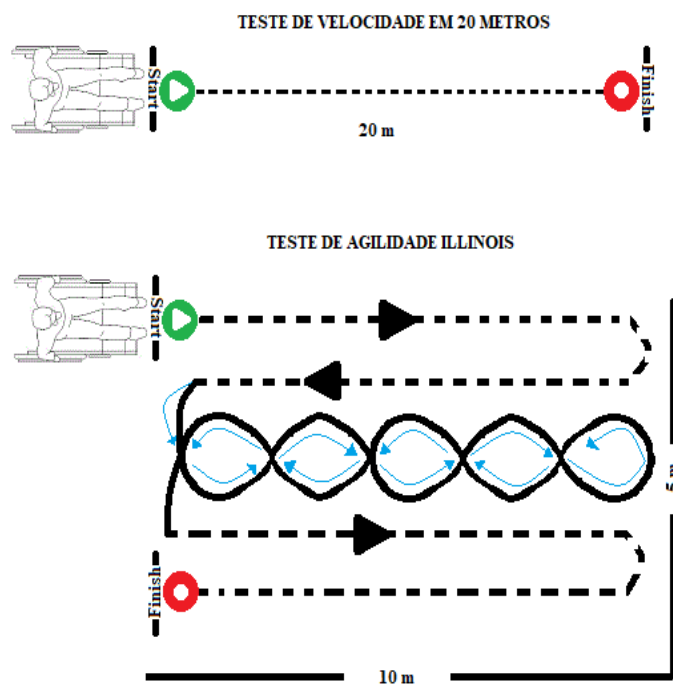
3.3.3.1. Teste de velocidade máxima de 20 metros

O participante parte de uma posição estacionária atrás da linha de partida e, depois de um comando verbal, executa a propulsão máxima da cadeira por uma distância reta de 20 m, o mais rápido possível. O teste foi realizado duas vezes, com um minuto de descanso entre cada tentativa (BERGAMINI *et al.*, 2015). O melhor resultado foi considerado para as análises (Figura 3).

3.3.3.2. Teste de agilidade de Illinois

O atleta passa por um circuito pré-determinado onde realiza movimentos em linha reta e em ziguezague. A distância entre o ponto de partida e o ponto final é de cinco metros e a linha reta está a 10 metros de distância. Após o comando de largada, o atleta deve completar o percurso no menor tempo possível. Foram realizadas duas tentativas com intervalo de um minuto entre cada uma (USMA-ALVAREZ *et al.*, 2010). O melhor resultado foi considerado para as análises (Figura 3).

Figura 3 - Teste de velocidade máxima de 20m e teste de agilidade de Illinois

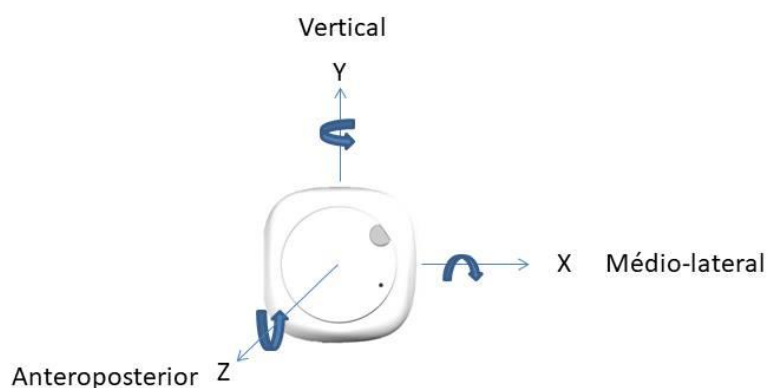


Fonte: Circuito realizado pela autora. Cadeira de rodas retirada da internet (<https://www.cadblocos.arq.br/pt-br/blocos/bloco-detalhes/2371/acessorios/>).

3.3.4. Sensor

Foram utilizados sensores do modelo MetaMotionC – MMC (MetaMotionC™, MBIENTLAB-INC). Este sensor contém um acelerômetro tri-axial que coletou valores de aceleração linear e um giroscópio que coletou medidas de velocidade angular, ambos em três eixos de movimento X, Y e Z (figura 4). Os sensores foram calibrados com frequência de amostragem de 100 Hz e sensibilidade de 16 g para o acelerômetro e 2000°/s para o giroscópio.

Figura 4 - Eixos de movimentação do acelerômetro e do giroscópio



Fonte: Imagem do sensor foi retirada do site da desenvolvedora MBIENTLAB (<https://mbientlab.com>).

3.3.5. Análise dos dados

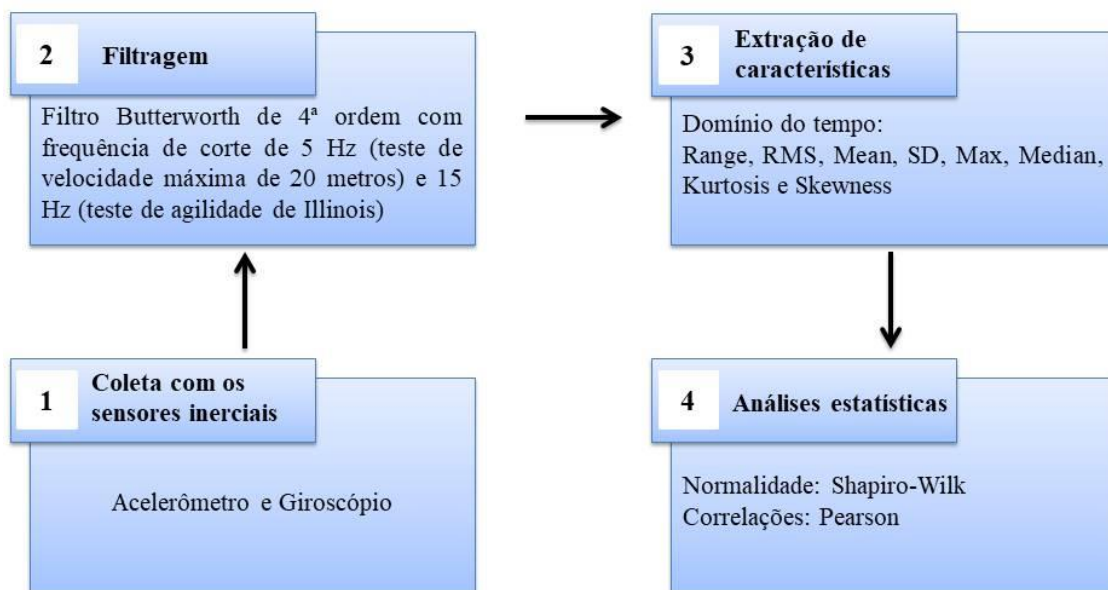
3.3.5.1. Processamento de dados brutos

Após as coletas de dados, os valores brutos de aceleração linear e velocidade angular foram exportados por meio de um documento no formato CSV para o software R (R version 4.0.2 (2020-06-22) - Copyright (C) 2020 The R Foundation for Statistical Computing, Platform: x86_64-w64-mingw32/x64 (64-bit)). Esse sinal então foi filtrado por meio de um filtro Butterworth de 4ª ordem com frequência de corte de cinco Hz para os valores do teste de velocidade máxima de 20 metros e 15 Hz para o teste de agilidade de Illinois. Dessa maneira os ruídos do sinal foram suavizados (figura 5).

3.3.5.2. Extração de parâmetros

Após a suavização do sinal, foram extraídos os parâmetros que posteriormente foram usados na análise estatística. Foram extraídos oito parâmetros de cada sensor (acelerômetro e giroscópio) e de cada eixo individualmente e da resultante dos três eixos (X, Y, Z e *Resultante*), totalizando 64 variáveis. Todos os cálculos de extração foram realizados no R. Na tabela 3 é possível visualizar todos os parâmetros, sua descrição e o cálculo (figura 5).

Figura 5 - Processamento do sinal.



Fonte: A autora.

Tabela 6 - Parâmetros extraídos do sinal do acelerômetro e do giroscópio.

Parâmetro	Definição	Cálculo	Função RStudio
Range	Diferença entre o valor máximo e o valor mínimo encontrado no sinal de aceleração linear (acelerômetro) ou velocidade angular (giroscópio).	$Range = \max(x(i)) i = 1 \text{ to } N - \min(x(i)) i = 1 \text{ to } N$	which.min (x) - which.max (x)
Root Mean Square (RMS)	Raiz quadrada média é uma medida relacionada à variabilidade do sinal de aceleração linear (acelerômetro) ou velocidade angular (giroscópio). É entendida como uma amplitude.	$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (x(i))^2}$	sqrt(sum(x^2)/length(x))

Tabela 7 - Parâmetros extraídos do sinal do acelerômetro e do giroscópio (Continuação).

Parâmetro	Definição	Cálculo	Função RStudio
Mean	Valor médio de aceleração linear (acelerômetro) ou velocidade angular (giroscópio).	$Média = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x(i)$	mean(x)
Standard Deviation (SD)	Desvio padrão do sinal de aceleração linear (acelerômetro) ou velocidade angular (giroscópio).	$sd = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (x(i) - mean(x))^2}$	sd(x)
Max	Valor máximo de aceleração linear (acelerômetro) ou velocidade angular (giroscópio).	$Max = (\max(x(i)) i = 1 \text{ to } N)$	which.max(x)
Median	Valor central do sinal de aceleração linear (acelerômetro) ou velocidade angular (giroscópio).	$Mediana = li + \left(\frac{\left(\frac{N}{2} - f_{ac_{ant}} \right)}{f_i} \right) \cdot h$	Median(x)
Kurtosis (curtose)	É uma medida relacionada com o pico ou achatamento das curvas presentes em um sinal de valor central do sinal de aceleração linear (acelerômetro) ou velocidade angular (giroscópio).	$\beta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \left(\frac{(x(i) - mean(x))}{sd(x)} \right)^4 - 3$	kurtosis(x) Precisa do pacote: PerformanceAnalytics
Skewness (Assimetria)	Medida de simetria do sinal de aceleração linear (acelerômetro) ou velocidade angular (giroscópio).	$\gamma = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \left(\frac{(x(i) - mean(x))}{sd(x)} \right)^3$	skewness(x) Precisa do pacote: PerformanceAnalytics

Legenda: x = conjunto de dados; N = número de elementos em x ; li = limite inferior da classe da mediana; $f_{ac_{ant}}$ = frequência acumulada da classe que acontece à classe da mediana; f_i = frequência simples da classe da mediana; h = amplitude da classe da mediana.

3.3.5.3. Análise estatística

Foi realizada a estatística descritiva por meio de média e desvio padrão para os dados epidemiológicos e tempo de realização dos testes de habilidade. O teste de Shapiro-wilk foi utilizado para avaliar a normalidade dos dados, caso a normalidade não fosse encontrada, eram realizadas transformações logarítmicas com o intuito de alcançar a normalidade dos valores. Em seguida, foram feitas correlações de *Spearman* entre as variáveis para identificar possíveis interações. O p-valor adotado foi de $p < 0,05$. O software de análise utilizado foi o R (R Core Team (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>).

3.4. RESULTADOS

Participaram do estudo 10 atletas de basquete em cadeira de rodas (oito homens e duas mulheres). Os atletas de classe baixa (1,0 e 1,5) precisaram de mais tempo para a realização do teste de velocidade máxima de 20 metros, quando comparados com atletas de classe média. O mesmo ocorreu para o teste de agilidade de Illinois, atletas com menor classe apresentaram maiores tempos de realização do teste (Resultados encontrados na tabela 4). Durante a realização dos testes todos os atletas possuíam faixa de fixação nos membros inferiores e no quadril. As figuras de 6 a 9 apresentam o sinal de aceleração linear e velocidade angular da classe esportiva alta e baixa.

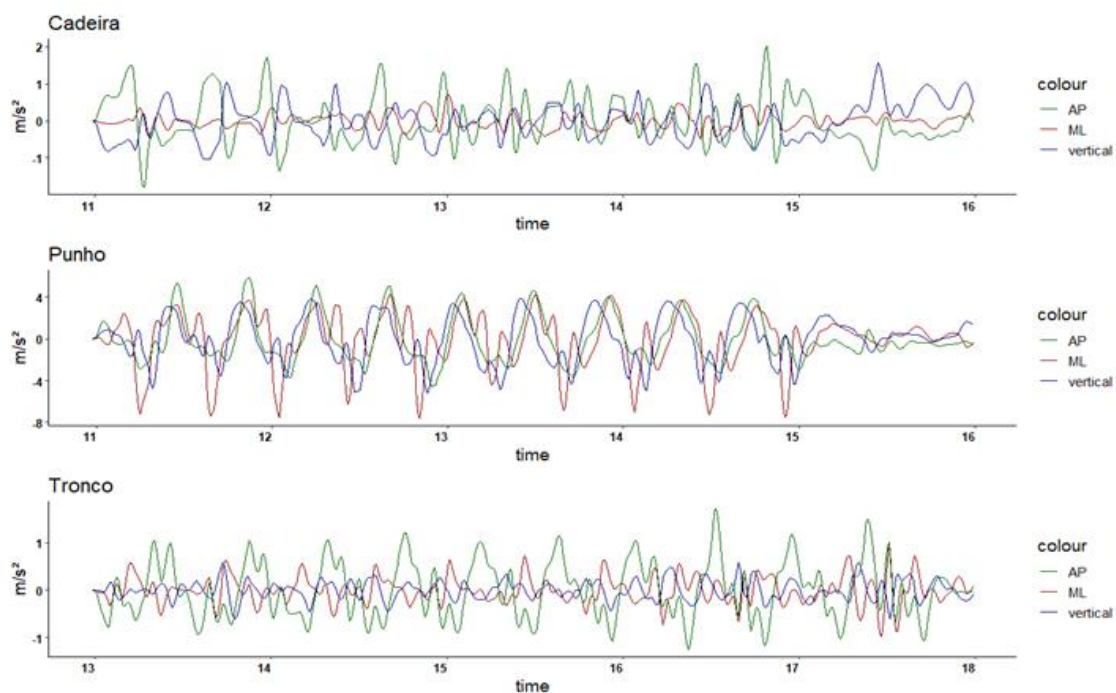
Tabela 8 - Resultado dos testes de 20m e agilidade de Illinois

Teste de velocidade de 20m	Média (±) Tempo (s)
Média total	5,6 (0,96)
Atletas classe alta (4.0 e 4.5)	6,3 (1,15)
Atletas classe média (2.0 - 3.5)	5,6 (0,95)
Atletas classe baixa (1.0 e 1.5)	5,0 (0,57)
Teste de agilidade de Illinois	
Média total	30,8 (4,07)
Atletas classe alta (4.0 e 4.5)	33,3 (4,04)
Atletas classe média (2.0 - 3.5)	30,6 (4,08)
Atletas classe baixa (1.0 e 1.5)	29,0 (4,16)

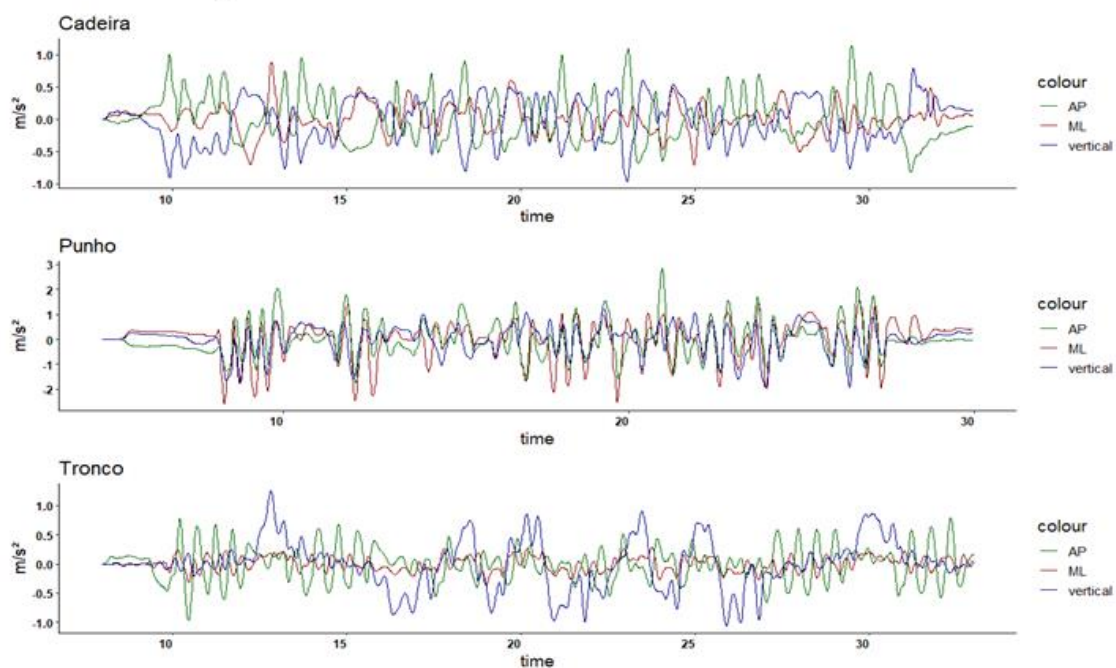
Legenda: A tabela apresenta os resultados por meio do tempo dos testes de velocidade de 20m e agilidade de Illinois.

Figura 6 - Sinal de aceleração linear de atleta com classe esportiva alta

A: Teste de Velocidade Máxima de 20m



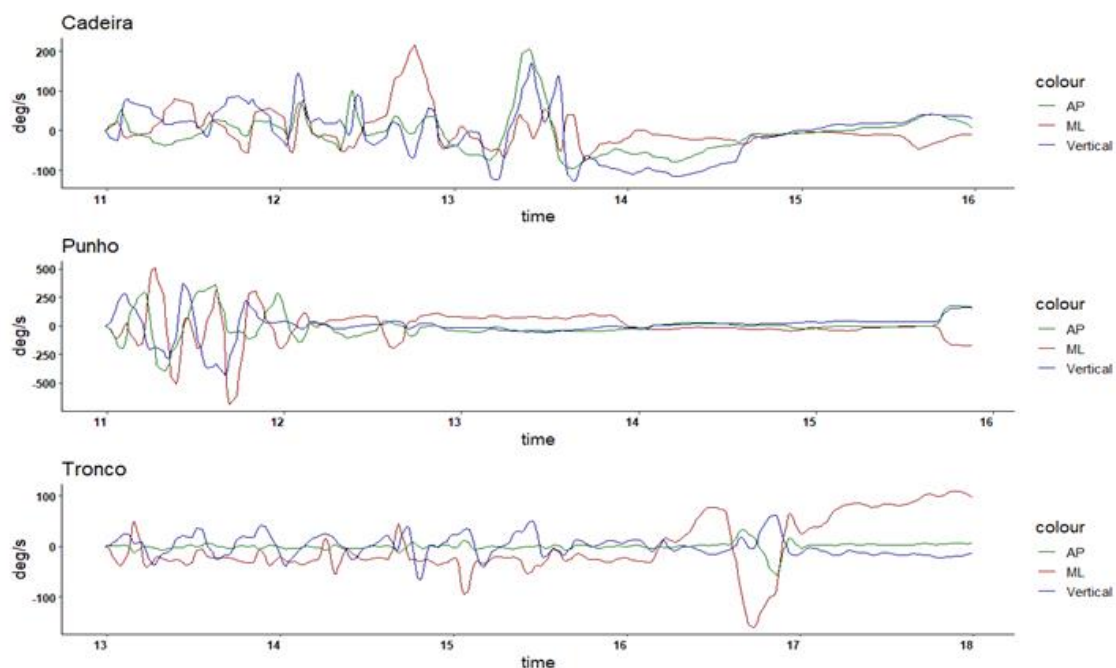
B: Teste de Agilidade de Illinois



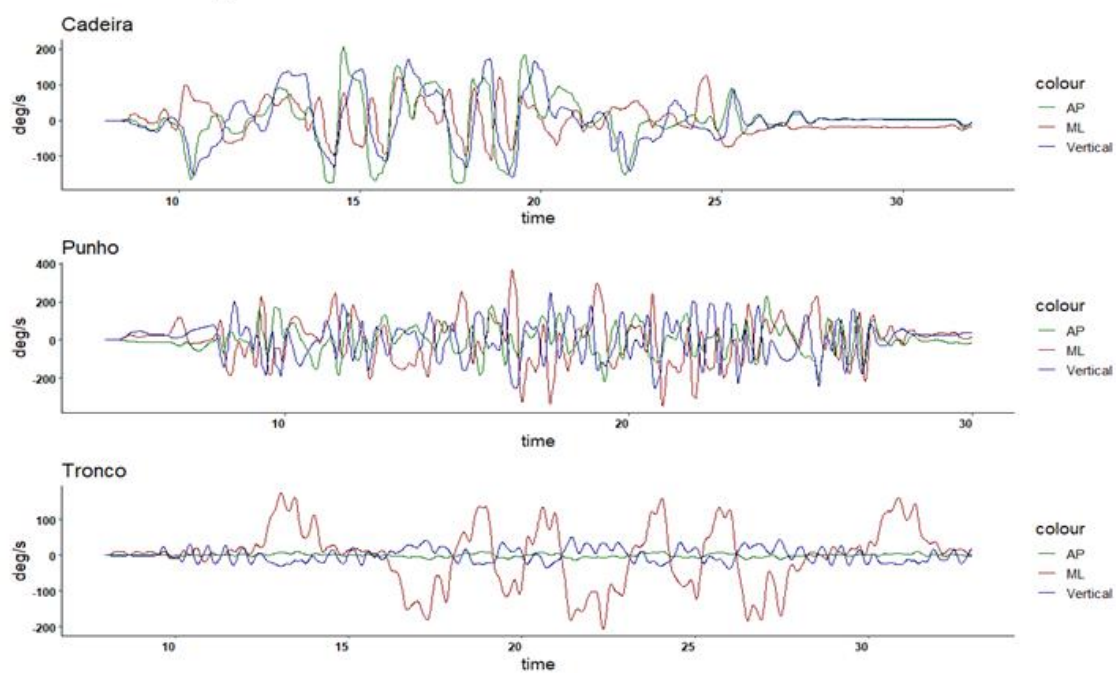
Legenda: AP = direção anteroposterior; ML = direção médio lateral.

Figura 7 - Sinal de velocidade angular de atleta com classe esportiva alta

A: Teste de Velocidade Máxima de 20m



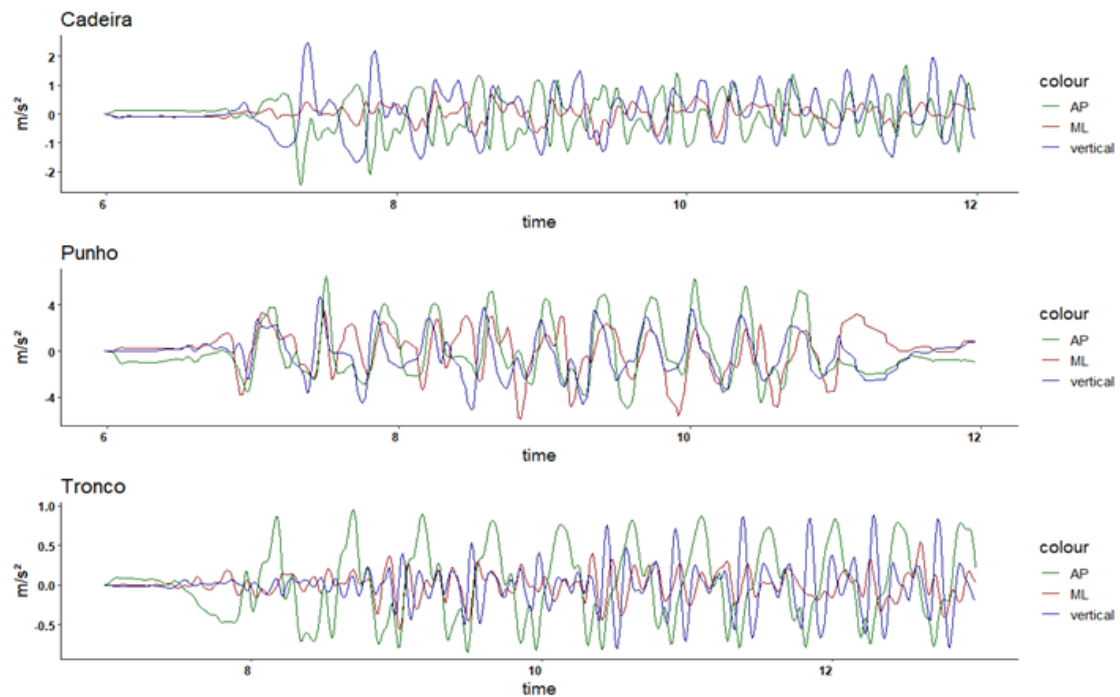
B: Teste de Agilidade de Illinois



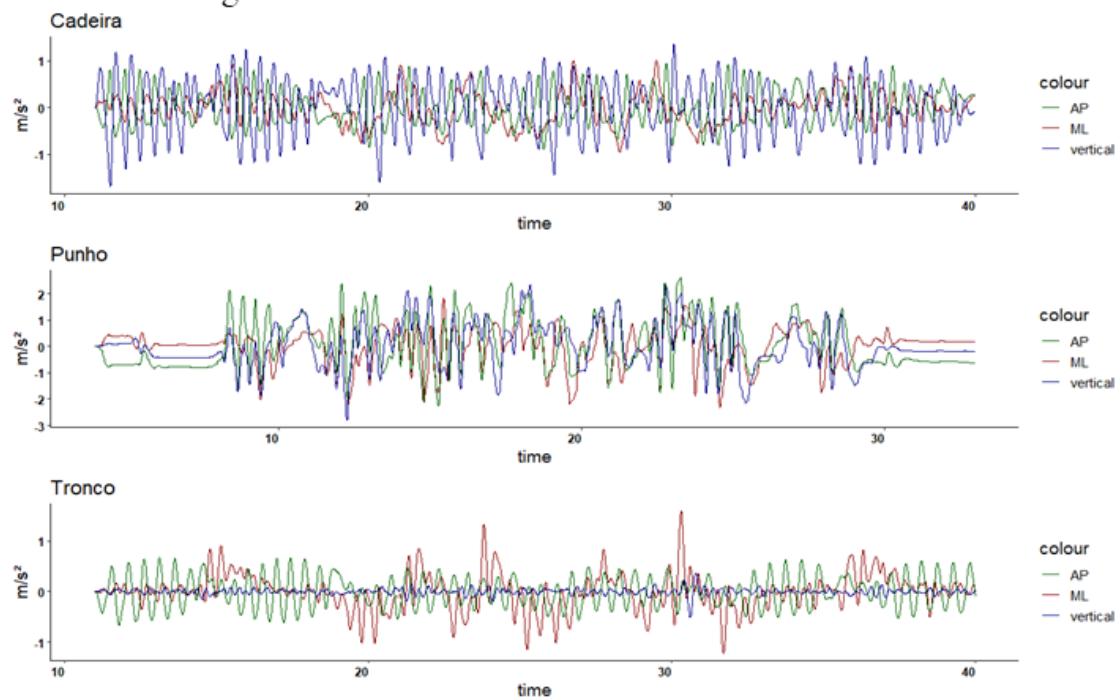
Legenda: AP = direção anteroposterior; ML = direção médio lateral.

Figura 8 - Sinal de aceleração linear de atleta com classe esportiva baixa

A: Teste de Velocidade Máxima de 20m



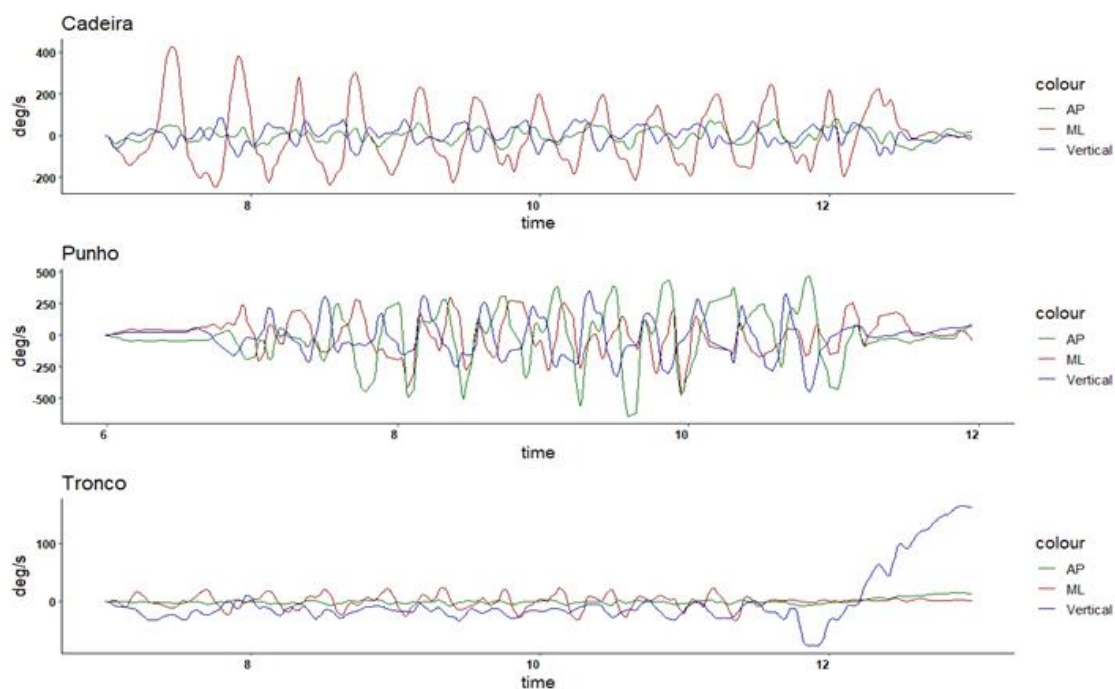
B: Teste de Agilidade de Illinois



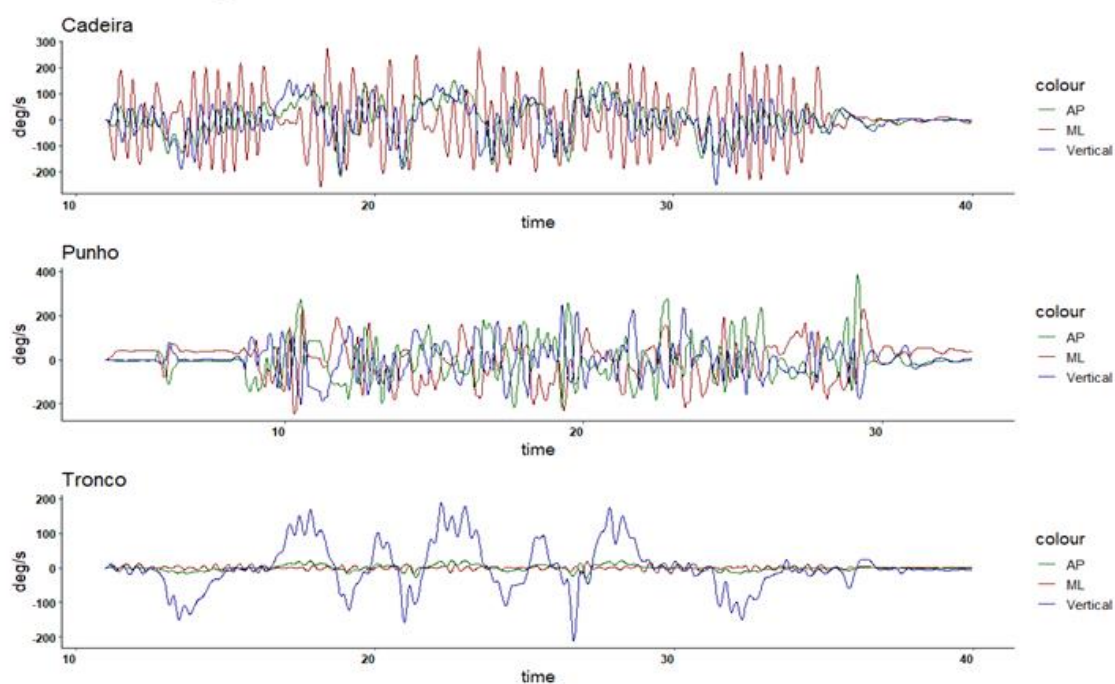
Legenda: AP = direção anteroposterior; ML = direção médio lateral.

Figura 9 - Sinal de velocidade angular de atleta com classe esportiva baixa

A: Teste de Velocidade Máxima de 20m



B: Teste de Agilidade de Illinois



Legenda: AP = direção anteroposterior; ML = direção médio lateral.

3.4.1. Correlações com a classe esportiva

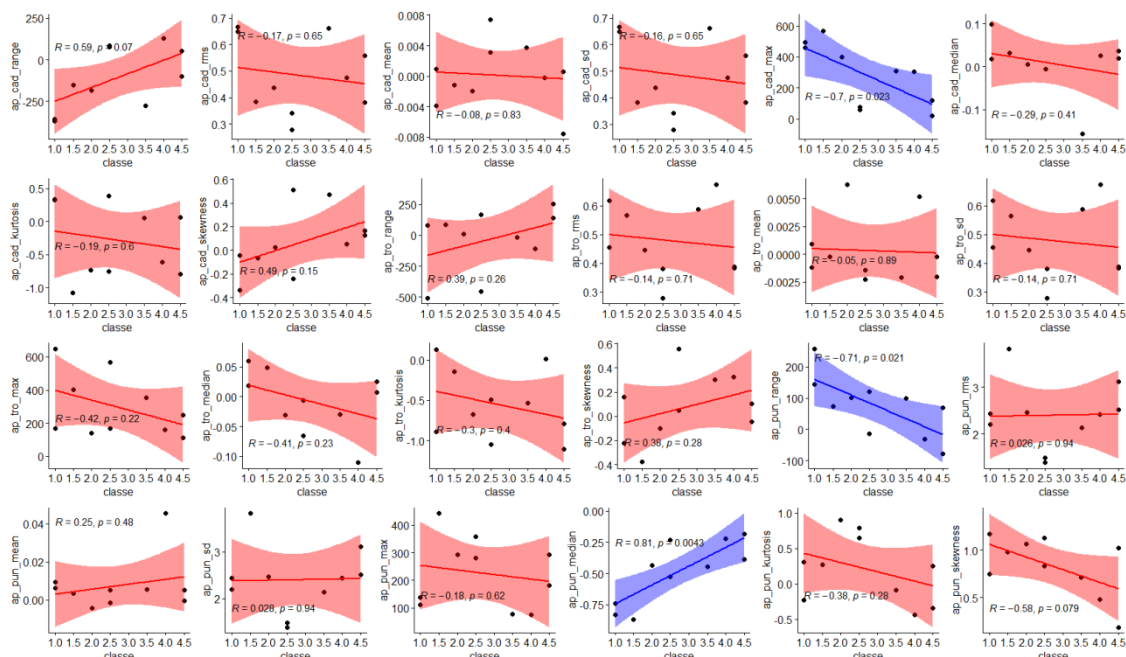
Das 64 variáveis (sensores e direções) extraídas, apenas 16 apresentaram correlações significativas moderadas e fortes com a classe esportiva. Para as variáveis coletadas com o acelerômetro no teste de velocidade máxima de 20 metros, três variáveis apresentaram correlações fortes e significativas com a classe esportiva: aceleração linear máxima na direção anteroposterior, Amplitude do punho na direção anteroposterior e mediana do punho na direção anteroposterior (figuras de 10 a 13).

Das variáveis coletadas com o giroscópio no teste de velocidade máxima de 20 m, a curiose da velocidade angular da cadeira na direção anteroposterior apresentou correlação moderada e significativa. O desvio padrão da velocidade angular do punho na resultante dos três eixos apresentou uma correlação muito fraca e significativa (figuras de 14 a 17).

Para as variáveis coletadas com o acelerômetro no teste de agilidade de Illinois, duas apresentaram correlações fortes e significativas com a classe esportiva: mediana da aceleração linear da cadeira na direção médio lateral e curiose da aceleração linear do punho na direção anteroposterior. Outras duas variáveis apresentaram correlações moderadas e significativas com a classe esportiva: curiose da cadeira na direção anteroposterior e assimetria da aceleração do tronco na direção anteroposterior (figuras 18 a 21).

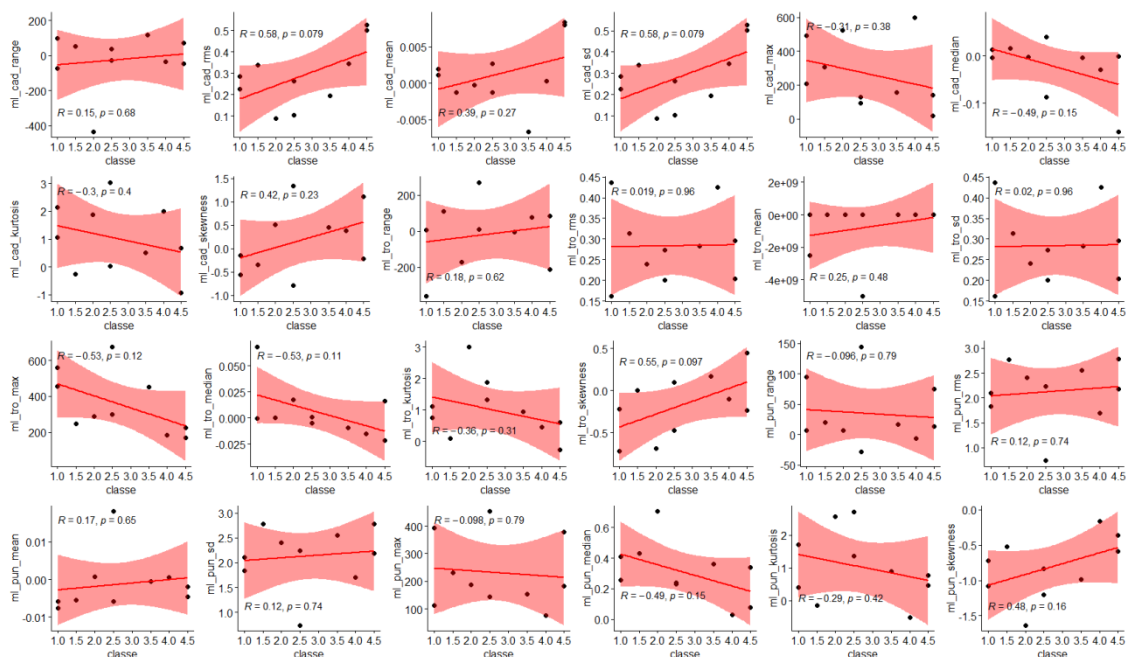
Quatro variáveis coletadas com o giroscópio no teste de agilidade de Illinois apresentaram correlações moderadas e significativas: media da velocidade angular da cadeira na direção anteroposterior, mediana da velocidade angular da cadeira na resultante, velocidade angular máxima do punho na direção médio lateral e velocidade angular máxima do tronco na resultante dos três eixos. Três variáveis apresentaram correlações fortes e significativas: mediana da velocidade angular da cadeira na direção anteroposterior, assimetria da velocidade angular do tronco na direção anteroposterior e média da velocidade angular do punho na direção vertical (figuras 22 a 25). As demais variáveis não apresentaram significância.

Figura 10 - Correlação entre a classe esportiva e variáveis coletadas com acelerômetro no teste de velocidade máxima de 20 metros para o eixo anteroposterior.



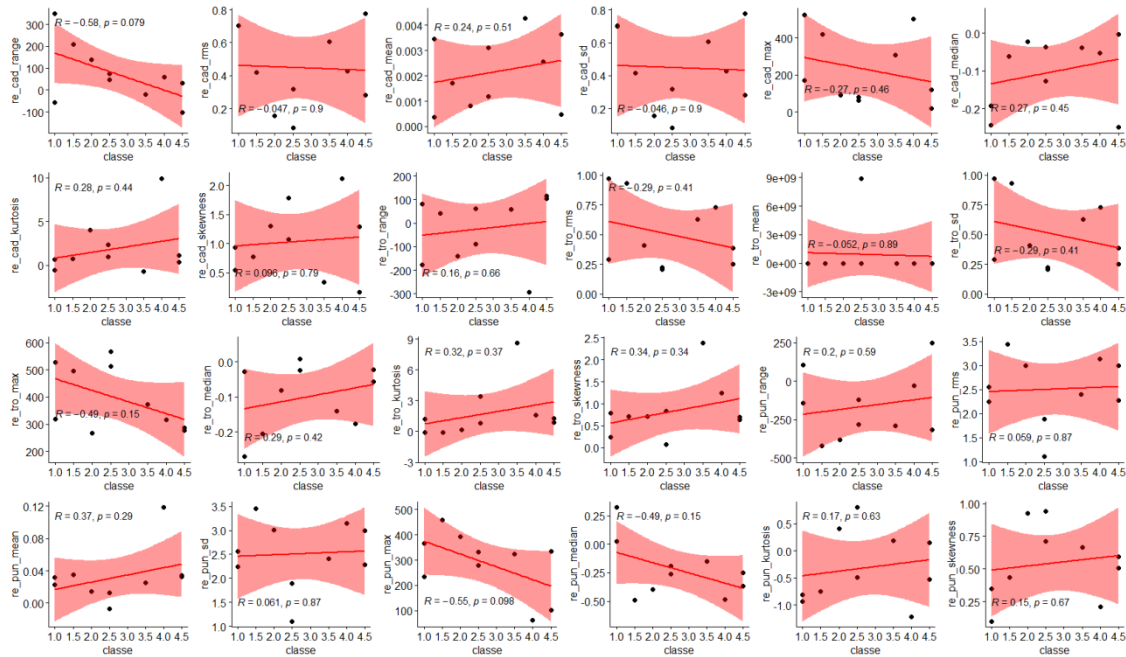
Legenda: A imagem demonstra as correlações significativas na cor azul e as que não são significativas na cor vermelha. Os valores de correlação e significância para cada condição aparece na imagem. Ap= anteroposterior; cad = cadeira; pun = punho; tro = tronco; rms = root mean square; sd=desvio padrão.

Figura 11 - Correlação entre a classe esportiva e variáveis coletadas com acelerômetro no teste de velocidade máxima de 20 metros para o eixo médio lateral.



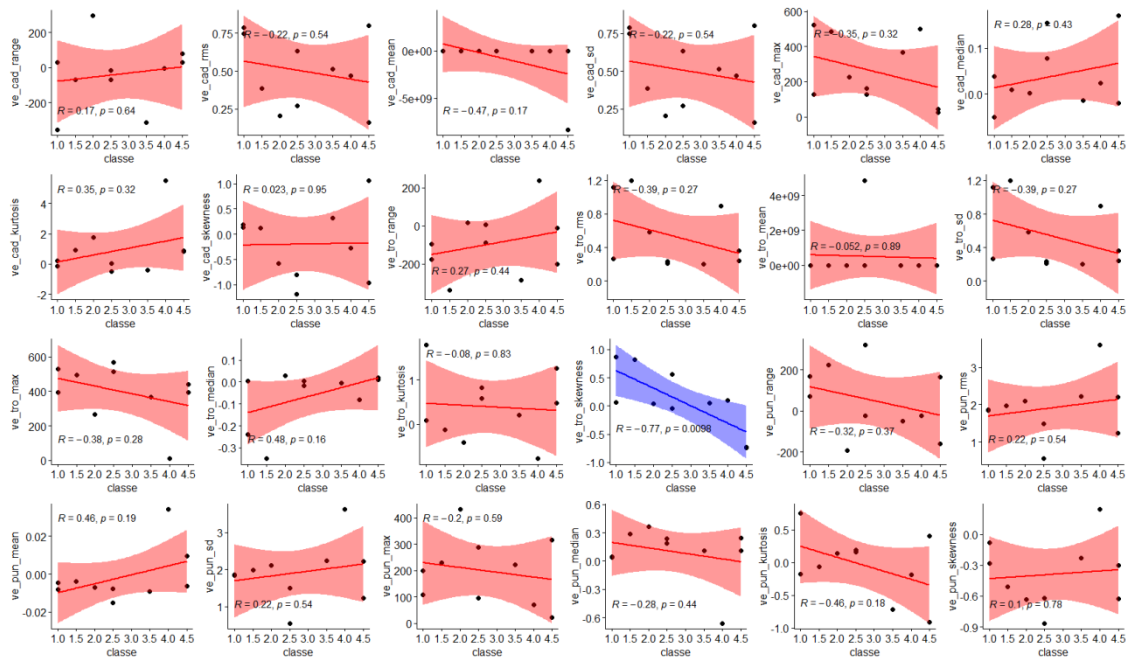
Legenda: A imagem demonstra as correlações significativas na cor azul e as que não são significativas na cor vermelha. Os valores de correlação e significância para cada condição aparece na imagem. ML= médio lateral; cad = cadeira; pun = punho; tro = tronco; rms = root mean square; sd=desvio padrão.

Figura 12 - Correlação entre a classe esportiva e variáveis coletadas com acelerômetro no teste de velocidade máxima de 20 metros para a resultante dos três eixos.



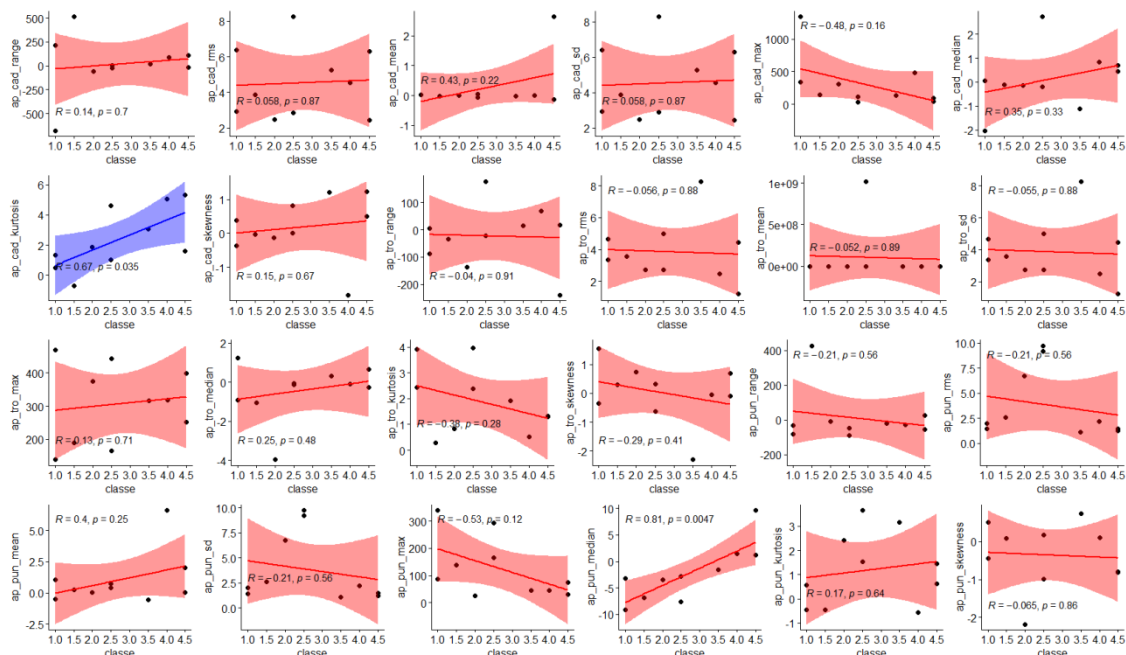
Legenda: A imagem demonstra as correlações significativas na cor azul e as que não são significativas na cor vermelha. Os valores de correlação e significância para cada condição aparece na imagem. re= resultante; cad = cadeira; pun = punho; tro = tronco; rms = root mean square; sd=desvio padrão.

Figura 13 - Correlação entre a classe esportiva e variáveis coletadas com acelerômetro no teste de velocidade máxima de 20 metros para o eixo vertical.



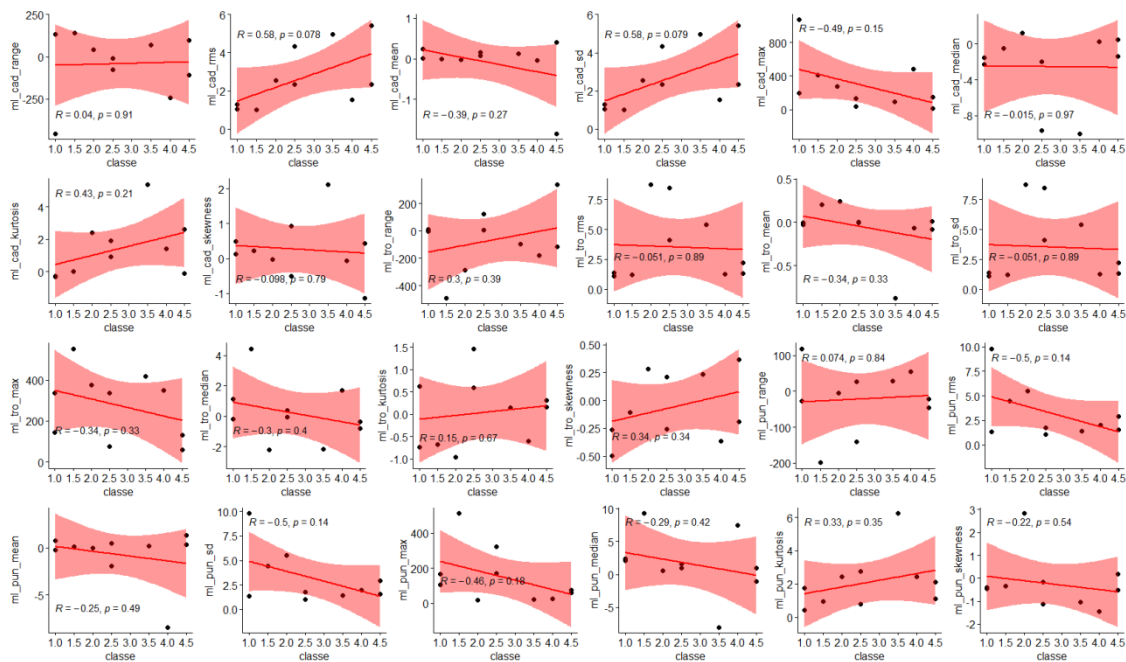
Legenda: A imagem demonstra as correlações significativas na cor azul e as que não são significativas na cor vermelha. Os valores de correlação e significância para cada condição aparece na imagem. ve= vertical; cad = cadeira; pun = punho; tro = tronco; rms = root mean square; sd=desvio padrão.

Figura 14 - Correlação entre classe esportiva e variáveis coletadas com o giroscópio no teste de velocidade máxima de 20 metros para o eixo anteroposterior.



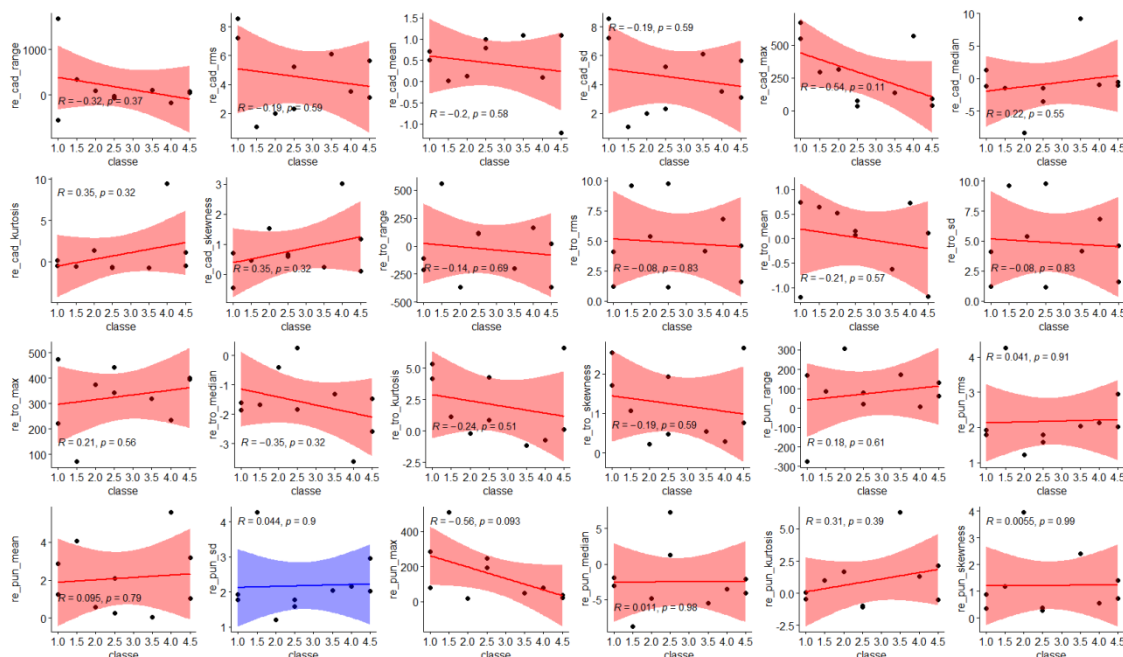
Legenda: A imagem demonstra as correlações significativas na cor azul e as que não são significativas na cor vermelha. Os valores de correlação e significância para cada condição aparece na imagem. Ap= anteroposterior; cad = cadeira; pun = punho; tro = tronco; rms = root mean square; sd=desvio padrão.

Figura 15 - Correlação entre classe esportiva e variáveis coletadas com o giroscópio no teste de velocidade máxima de 20 metros para o eixo médio lateral.



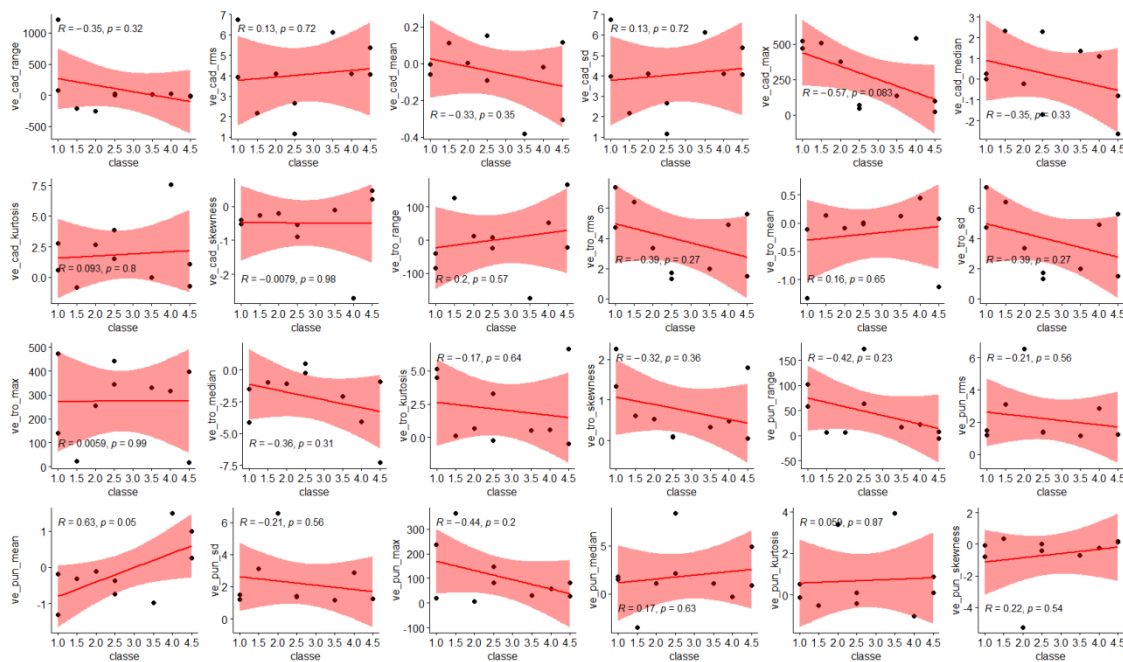
Legenda: A imagem demonstra as correlações significativas na cor azul e as que não são significativas na cor vermelha. Os valores de correlação e significância para cada condição aparece na imagem. ML= médio lateral; cad = cadeira; pun = punho; tro = tronco; rms = root mean square; sd=desvio padrão.

Figura 16 - Correlação entre classe esportiva e variáveis coletadas com o giroscópio no teste de velocidade máxima de 20 metros para a resultante dos três eixos.



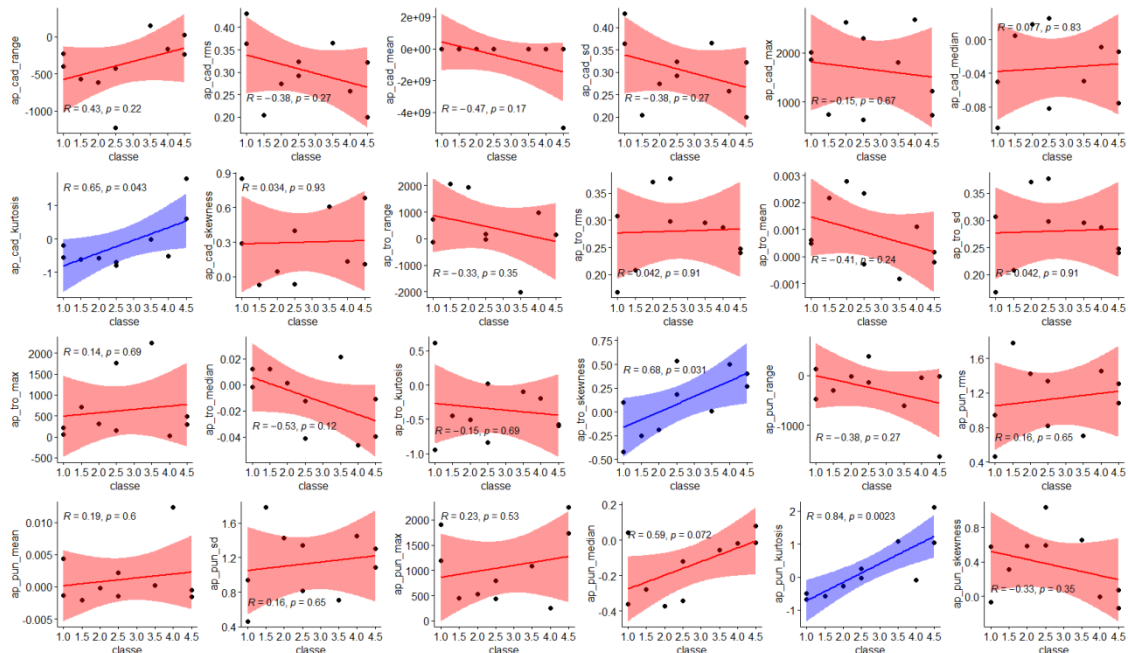
Legenda: A imagem demonstra as correlações significativas na cor azul e as que não são significativas na cor vermelha. Os valores de correlação e significância para cada condição aparece na imagem. re= resultante; cad = cadeira; pun = punho; tro = tronco; rms = root mean square; sd=desvio padrão.

Figura 17 - Correlação entre classe esportiva e variáveis coletadas com o giroscópio no teste de velocidade máxima de 20 metros para o eixo vertical.



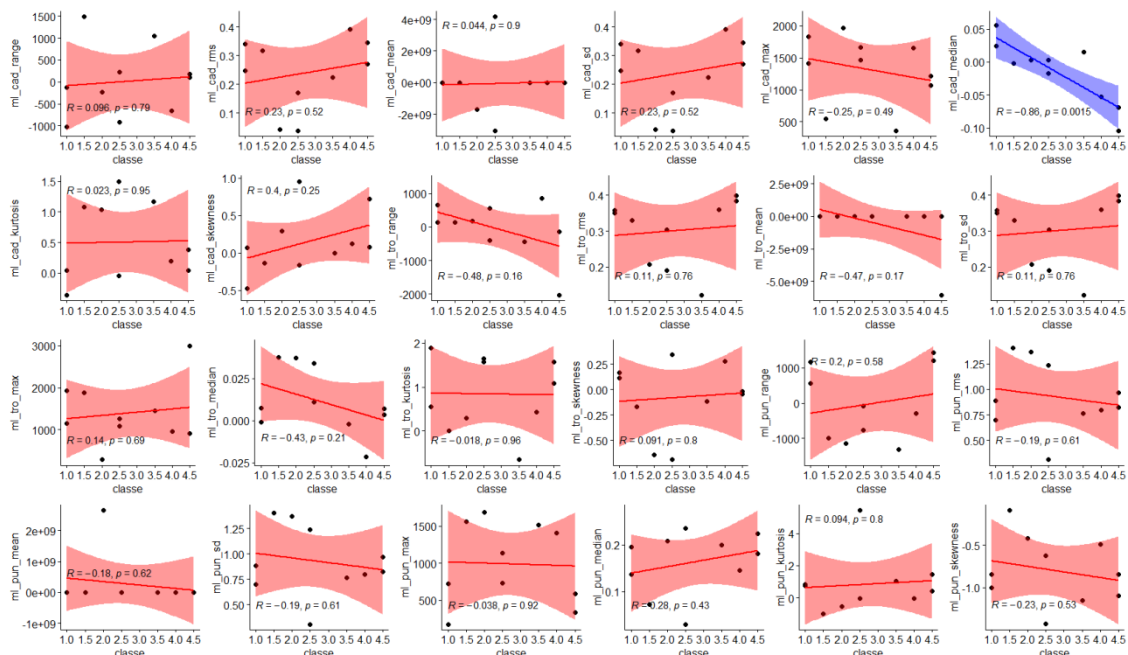
Legenda: A imagem demonstra as correlações significativas na cor azul e as que não são significativas na cor vermelha. Os valores de correlação e significância para cada condição aparece na imagem. ve= vertical; cad = cadeira; pun = punho; tro = tronco; rms = root mean square; sd=desvio padrão.

Figura 18 - Correlação entre classe esportiva e variáveis coletadas com o acelerômetro no teste de agilidade de Illinois para o eixo anteroposterior.



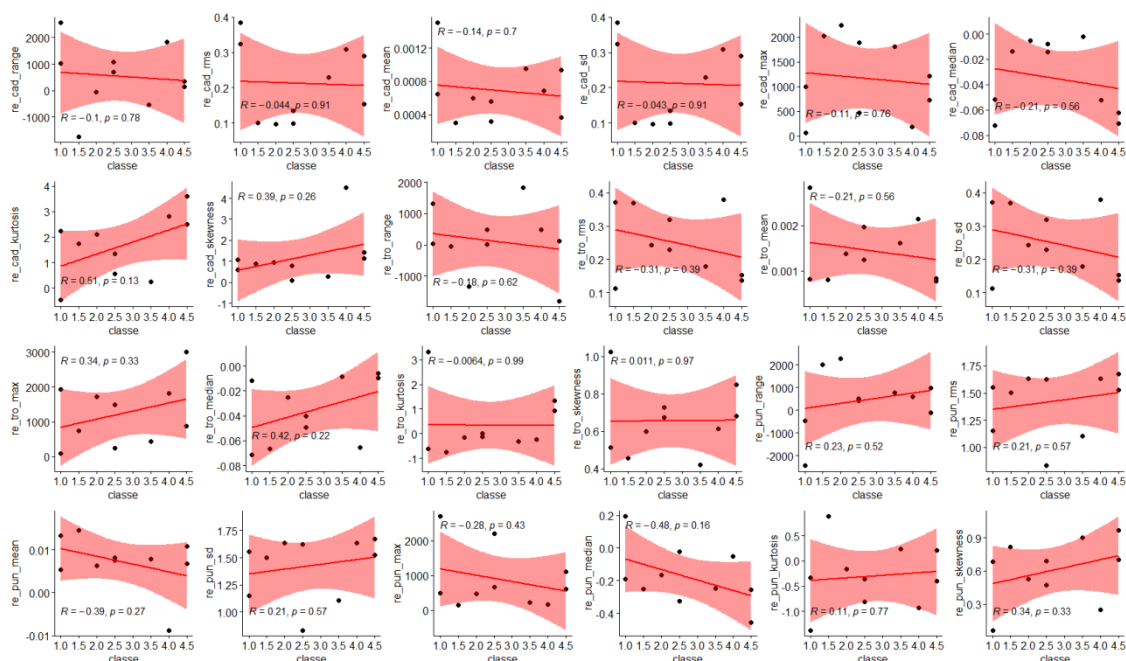
Legenda: A imagem demonstra as correlações significativas na cor azul e as que não são significativas na cor vermelha. Os valores de correlação e significância para cada condição aparece na imagem. Ap= anteroposterior; cad = cadeira; pun = punho; tro = tronco; rms = root mean square; sd=desvio padrão.

Figura 19 - Correlação entre classe esportiva e variáveis coletadas com o acelerômetro no teste de agilidade de Illinois para o eixo médio lateral.



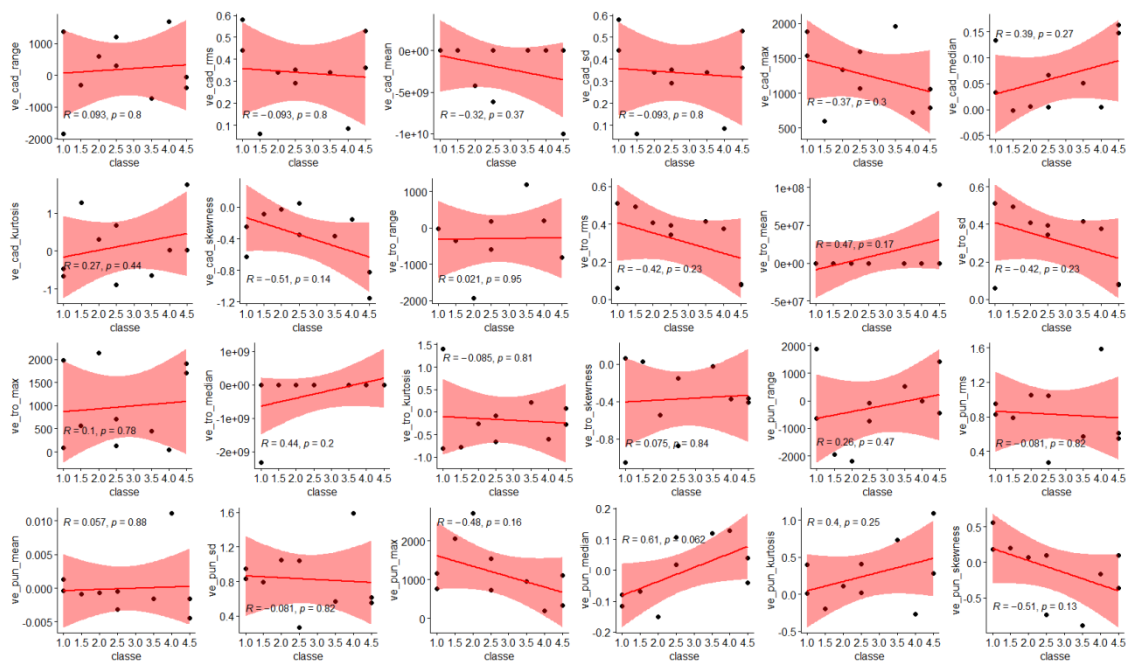
Legenda: A imagem demonstra as correlações significativas na cor azul e as que não são significativas na cor vermelha. Os valores de correlação e significância para cada condição aparece na imagem. ML= médio lateral; cad = cadeira; pun = punho; tro = tronco; rms = root mean square; sd=desvio padrão.

Figura 20 - Correlação entre classe esportiva e variáveis coletadas com o acelerômetro no teste de agilidade de Illinois para a resultante dos três eixos.



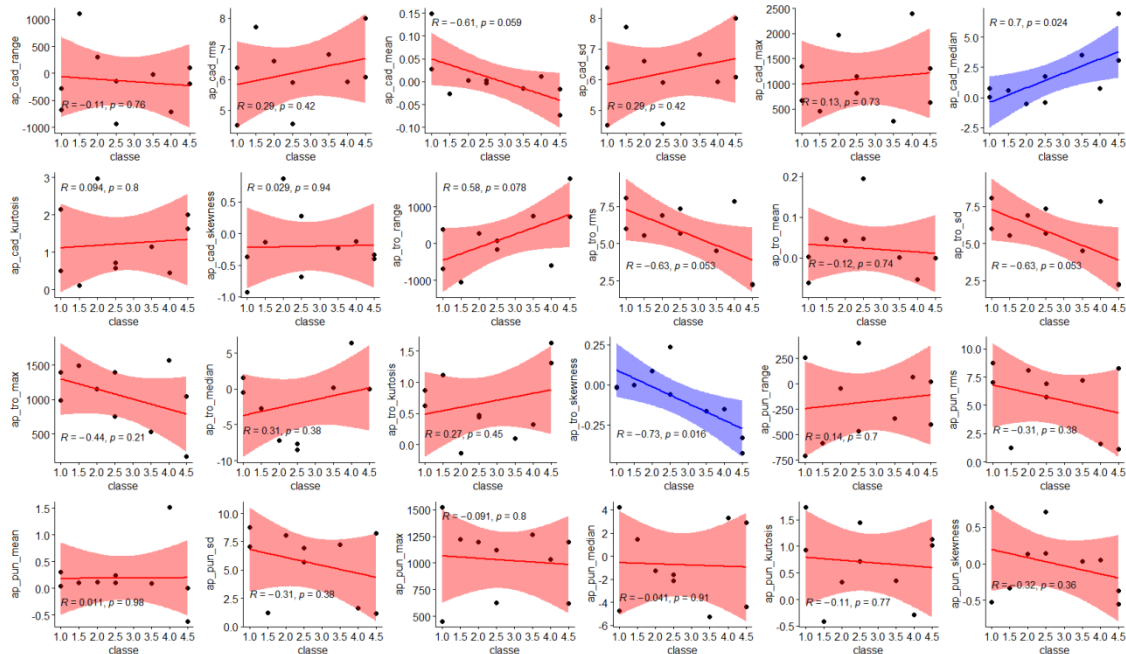
Legenda: A imagem demonstra as correlações significativas na cor azul e as que não são significativas na cor vermelha. Os valores de correlação e significância para cada condição aparece na imagem. re= resultante; cad = cadeira; pun = punho; tro = tronco; rms = root mean square; sd=desvio padrão.

Figura 21 - Correlação entre classe esportiva e variáveis coletadas com o acelerômetro no teste de agilidade de Illinois para o eixo vertical.



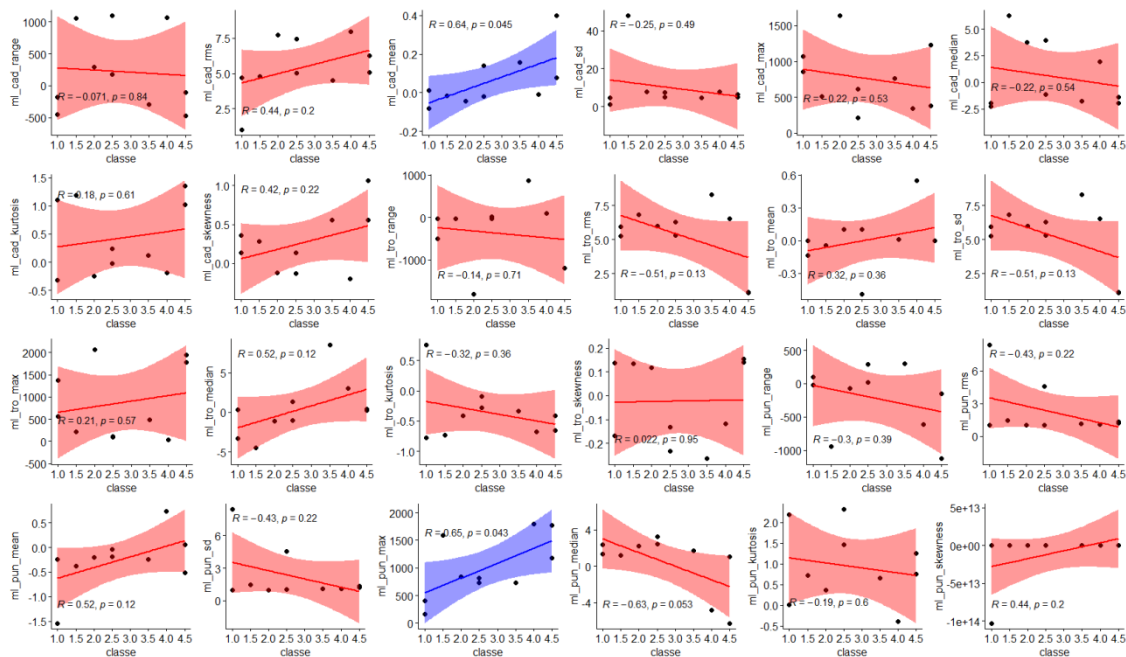
Legenda: A imagem demonstra as correlações significativas na cor azul e as que não são significativas na cor vermelha. Os valores de correlação e significância para cada condição aparece na imagem. ve= vertical; cad = cadeira; pun = punho; tro = tronco; rms = root mean square; sd=desvio padrão.

Figura 22 - Correlação entre classe esportiva e variáveis coletadas com o giroscópio no teste de agilidade de Illinois para o eixo anteroposterior.



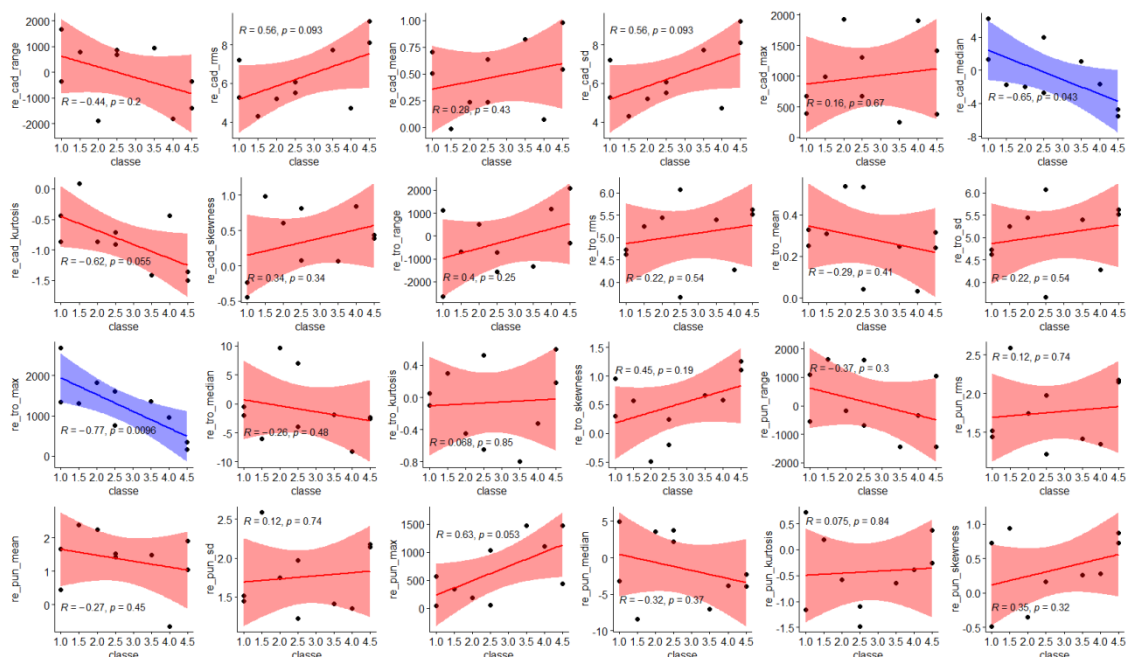
Legenda: A imagem demonstra as correlações significativas na cor azul e as que não são significativas na cor vermelha. Os valores de correlação e significância para cada condição aparece na imagem. Ap= anteroposterior; cad = cadeira; pun = punho; tro = tronco; rms = root mean square; sd=desvio padrão.

Figura 23 - Correlação entre classe esportiva e variáveis coletadas com o giroscópio no teste de agilidade de Illinois para o eixo médio lateral.



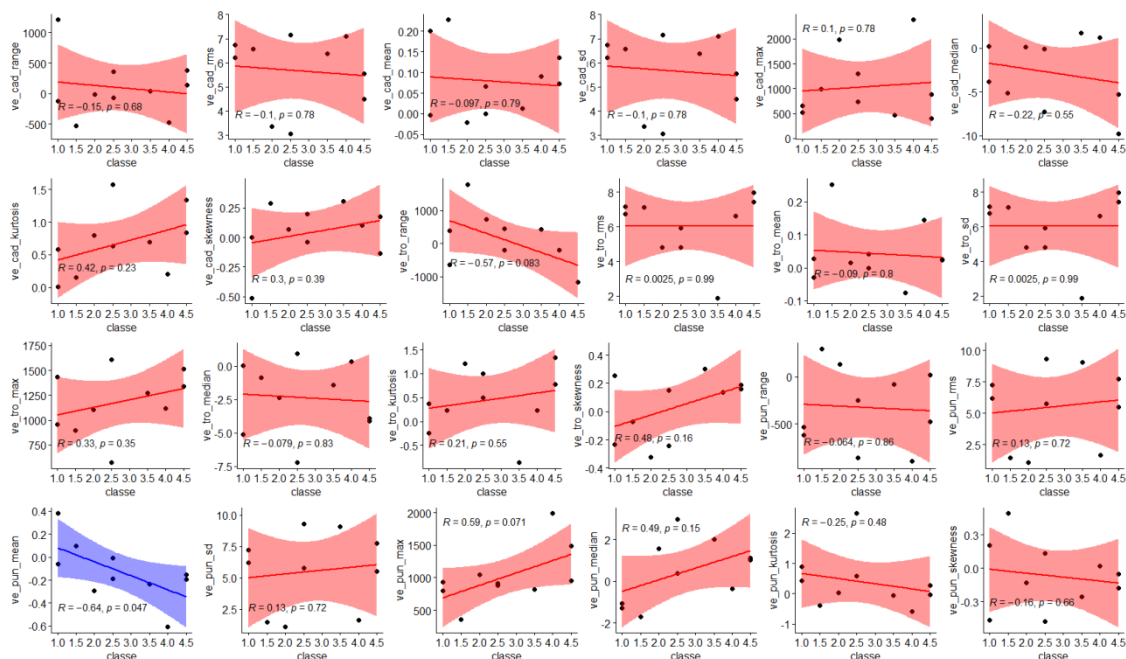
Legenda: A imagem demonstra as correlações significativas na cor azul e as que não são significativas na cor vermelha. Os valores de correlação e significância para cada condição aparece na imagem. ML= médio lateral; cad = cadeira; pun = punho; tro = tronco; rms = root mean square; sd=desvio padrão.

Figura 24 - Correlação entre classe esportiva e variáveis coletadas com o giroscópio no teste de agilidade de Illinois para a resultante dos três eixos.



Legenda: A imagem demonstra as correlações significativas na cor azul e as que não são significativas na cor vermelha. Os valores de correlação e significância para cada condição aparece na imagem. re= resultante; cad = cadeira; pun = punho; tro = tronco; rms = root mean square; sd=desvio padrão.

Figura 25 - Correlação entre classe esportiva e variáveis coletadas com o giroscópio no teste de agilidade de Illinois para o eixo vertical.



Legenda: A imagem demonstra as correlações significativas na cor azul e as que não são significativas na cor vermelha. Os valores de correlação e significância para cada condição aparece na imagem. ve= vertical; cad = cadeira; pun = punho; tro = tronco; rms = root mean square; sd=desvio padrão.

3.4.2. Posicionamento do sensor e direção (eixo de movimentação)

Levando em consideração o posicionamento do sensor, as variáveis coletadas com o sensor posicionado na cadeira de rodas apresentaram maior número de correlações fortes e moderadas com a classe esportiva ($N = 8$). O sensor posicionado no punho teve seis variáveis correlacionadas de forma moderada e forte com a classe e para a posição do tronco apenas quatro variáveis (tabela 3). O teste de agilidade de Illinois apresentou mais variáveis correlacionadas com a classe esportiva ($N = 12$) quando comparado ao teste de velocidade máxima de 20 metros ($N = 6$). A direção (eixo de movimentação) que apresentou maior número de variáveis correlacionadas com a classe esportiva foi a direção anteroposterior ($N = 12$). A direção média lateral apresentou três variáveis correlacionadas com a classe esportiva, a resultante apresentou duas variáveis e o eixo vertical apresentou apenas uma variável que pôde ser correlacionada com a classe esportiva.

3.5. DISCUSSÃO

O objetivo deste trabalho era identificar a viabilidade de uso do sensor inercial para o processo de classificação esportiva do basquete em cadeira de rodas. Assim, os principais resultados encontrados aqui foram: 1) Atletas com maiores classes realizaram os testes de desempenho em menores tempos; 2) 16 variáveis tiveram correlações significativas moderadas e fortes com a classe esportiva; 3) As variáveis coletadas com o sensor posicionado na cadeira de rodas apresentaram maior número de correlações fortes e moderadas com a classe esportiva; 4) O teste de agilidade de Illinois apresentou mais variáveis correlacionadas com a classe esportiva quando comparado ao teste de velocidade máxima de 20 metros; 5) O eixo que apresentou maior número de variáveis correlacionadas com a classe esportiva foi a direção anteroposterior.

3.5.1. Realização dos testes de habilidades

Nos resultados observados aqui, atletas com menores classes precisaram de mais tempo para a realização do teste de velocidade máxima de 20 metros e também para o teste de agilidade de Illinois. Estudos realizados anteriormente identificaram que a classe esportiva possui relação com o tempo de realização de testes de habilidades e que atletas de classes mais altas, ou seja, com volume de ação e funcionalidade maiores, apresentam melhores resultados em testes de habilidades quando comparados a atletas de classes menores (BRASILE, 1986, 1990; GIL *et al.*, 2015; HARBALIS; HATZIGEORGIAIDIS; THEODORAKIS, 2008; MARSZALEK *et al.*, 2019; MOLIK *et al.*, 2010; TACHIBANA *et al.*, 2019).

3.5.2. Dados coletados com sensores inerciais

No teste de velocidade máxima de 20 metros o atleta percorre uma distância em linha reta, dessa forma espera-se que ocorram maiores oscilações de cadeira, punho e tronco nas direções anteroposterior e vertical. Para este teste a aceleração máxima da cadeira e a amplitude de aceleração do punho na direção anteroposterior apresentaram correlações negativas, ou seja, quanto menor a classe, maior é a aceleração máxima da cadeira e amplitude de aceleração do punho. A mediana da velocidade angular do punho e curtose da velocidade angular da cadeira na direção anteroposterior e a média da velocidade angular do punho na direção vertical apresentaram valores de correlação positiva, quanto maior a classe, maior seriam os valores encontrados de aceleração e velocidade angular para estas variáveis.

No estudo de Van Der Slikke (2018), os autores avaliaram se medidas de desempenho coletadas através de sensores inerciais poderiam oferecer um ponto de vista alternativo para a classificação de atletas de basquete em cadeira de rodas. No protocolo de pesquisa, os sensores foram posicionados um em cada eixo da roda traseira e um na barra do chassi traseiro e encontraram valores de aceleração e velocidade no plano anteroposterior e rotacional, menores no grupo de atletas com ponto baixo (1,0 e 1,5) quando comparados com atletas de classe média (2,0, 2,5, 3,0 e 3,5) e classe alta (4,0 e 4,5). Esse resultado indica que a aceleração e a velocidade são diretamente proporcionais à classe esportiva do atleta (VAN DER SLIKKE *et al.*, 2018a).

O teste de agilidade de Illinois teve maior número de variáveis correlacionadas de forma moderada e forte, no total foram 12 variáveis, o dobro do que foi encontrado

no teste de velocidade máxima de 20 metros. Isso pode estar relacionado com a presença de mais elementos de movimentação neste teste, além de propulsão, são realizados movimentos de giro para ambos os lados durante sua realização (SALIMI; FERGUSON-PELL, 2020). Para este teste, esperávamos encontrar oscilações em todos os eixos de movimentação, assim como também era esperado um maior número de dados coletados com o giroscópio, visto a quantidade de giros realizados.

As variáveis coletadas com o acelerômetro no teste de agilidade de Illinois que apresentaram correlações fortes foram curto de aceleração do punho, curto de aceleração da cadeira e assimetria da aceleração do tronco na direção anteroposterior, média da velocidade angular da cadeira e velocidade angular máxima do punho, ambas na direção média lateral e mediana da velocidade angular da cadeira na direção anteroposterior apresentaram correlações positivas. Desta forma, para esses resultados quanto maior a classe, maior seriam os valores de aceleração e velocidade angular para estas variáveis no teste de agilidade de Illinois.

Usma-Alvarez *et al.* (2010) aplicaram o teste de agilidade de Illinois em atletas de rúgbi em cadeira de rodas, com o objetivo de desenvolver um método que permite a avaliação da velocidade tangencial e raio de giro que são alcançados durante o teste de agilidade de Illinois, para isso foram utilizados sensores inerciais (acelerômetros e giroscópios) posicionados na região anterior da cadeira. Em seus resultados, encontraram que velocidades menores foram encontradas nos grupos de classe médias e baixas. Além disso, observaram que houve diferença significativa entre os raios do grupo A (atletas com pontuação baixa) e do grupo B (atletas com pontuação média), e raios maiores foram observados no grupo A (atletas com pontuação baixa). Dessa maneira o método desenvolvido e proposto pelos autores demonstrou ser válido para auxiliar na avaliação do desempenho de atletas em cadeiras de rodas por meio do teste de agilidade de Illinois para fins de treinamento. (USMA-ALVAREZ *et al.*, 2010).

3.5.3. Posicionamento e direção (eixo de movimentação)

Com relação ao posicionamento do sensor, as variáveis coletadas com o sensor posicionado na cadeira de rodas apresentaram maior número de correlações fortes e moderadas com a classe esportiva. Isto pode estar relacionado com o fato de a cadeira ser o local mais estável. No geral, em estudos utilizando sensores em esportes com

cadeira de rodas, os sensores são posicionados na cadeira (aro da roda, haste do eixo central, região anterior da cadeira) (MASON; RHODES; GOOSEY-TOLFREY, 2014; USMA-ALVAREZ *et al.*, 2010; VAN DER SLIKKE *et al.*, 2018a, 2018b).

O eixo de movimentação que apresentou maior número de variáveis correlacionadas com a classe esportiva foi a direção anteroposterior. Este eixo como também o eixo vertical podem estar relacionados com o movimento de propulsão da cadeira. Ao realizar a propulsão, a cadeira é acelerada no eixo anteroposterior, da mesma forma como tronco e punho realizam oscilações também nesse eixo. O tronco durante a propulsão máxima realiza movimentação de flexão e extensão, enquanto que o punho toca a roda da cadeira, impulsionando-a para frente (BONINGER *et al.*, 2002; KOONTZ *et al.*, 2009).

3.5.4. Classificação esportiva

A utilização de sensores inerciais no processo de classificação do basquete em cadeira de rodas é possível. Os resultados encontrados aqui, embora ainda sejam preliminares, sugerem que existem variáveis que podem ser utilizadas para a avaliação funcional de atletas, baseados em sensores inerciais. A utilização do sensor em si, não é complexa, o que viabiliza a utilização por parte dos classificadores. Nesse sentido, é necessária a criação de padrões de avaliação e valores de referência.

3.5.5. Limitações da pesquisa

Em decorrência da pandemia do covid-19 causada pelo vírus SARS-CoV-2, a prospecção de participantes para a pesquisa foi prejudicada, dessa forma o N amostral foi baixo, o que provavelmente impactou nos resultados desta pesquisa.

3.5.6. Direção futura

Os próximos passos para está pesquisa serão ampliar o N e analisar a reprodutibilidade do sinal para garantir que é possível coletar variáveis consistentes. Investigar a relação do desempenho nos testes de habilidade e a classe esportiva, visto que o desempenho nestes testes podem incluir os efeitos da inexperiência e do envelhecimento. Ainda não

estão claros quais itens dos testes são influenciados pela capacidade funcional de um jogador (TACHIBANA *et al.*, 2019), esclarecer esses pontos traria um melhor entendimento para treinadores e classificadores na interpretação dos resultados do teste como forma de avaliação para classificação ou avaliação de desempenho. Adicionar às análises uma técnica de reconhecimento de padrão baseada em análise de componentes principais (PCA) e algoritmos de aprendizado de máquinas, visando à identificação de padrões de movimento de cadeira, punho e tronco.

3.6. CONCLUSÃO

Nossos resultados demonstraram que atletas que possuem maiores classes, ou seja, possuem maior funcionalidade, apresentaram resultados melhores na realização do teste de velocidade máxima de 20 metros e teste de agilidade de Illinois. A cadeira pareceu ser o local mais apropriado para o posicionamento do sensor e o teste de agilidade de Illinois apresentou características mais ricas. Os sensores inerciais são uma boa alternativa para a avaliação no momento da classificação esportiva, como também para a avaliação de desempenho. Por fim, acreditamos que o uso de tecnologias no ambiente esportivo irá crescer mais e parece ser um caminho sem volta, elevando o desempenho e as competições a outros patamares.

4. CONCLUSÃO GERAL DA DISSERTAÇÃO

Ao longo dos dois artigos apresentados nesta dissertação, destacamos a importância de um sistema de classificação baseado em evidências empíricas e como a utilização de sensores inerciais pode ser interessante para esse processo. Assim, através da revisão de literatura identificamos o importante papel que a tecnologia tem dentro do processo de classificação, além de instrumentalizar o método, estes instrumentos também podem ser utilizados com o objetivo de validar testes para serem utilizados na avaliação dos atletas.

O segundo estudo fornece uma visão de como o sensor inercial pode ser aplicado na avaliação do basquete em cadeira de rodas. Identificamos relação com dados coletados com os sensores e a classificação esportiva, discutindo posicionamentos para avaliação, testes que podem ser aplicados e variáveis que podem ser extraídas desses sensores. Nesse sentido, ainda existem pontos a serem esclarecidos, visando criar padrões e valores de referência para a classificação, entretanto os sensores inerciais parecem ser adequados para avaliação da classe esportiva e desempenho.

Acreditamos que com o passar do tempo, a inclusão de tecnologia adequada no processo de classificação levará as competições esportivas a um novo patamar, como já estamos vendo em esportes olímpicos, em que se utilizam tecnologias como os sensores inerciais e a cinemetria para identificar padrões de movimentação inadequados que podem vir a gerar lesões, dessa maneira permitindo a intervenção antes que o atleta seja prejudicado por lesões e melhorando seu desempenho em competições.

5. REFERÊNCIAS

2021 Official Wheelchair Basketball Rules. [s.l.] IWBF, 2021. v. 1

AL-AMRI, M. et al. Inertial Measurement Units for Clinical Movement Analysis: Reliability and Concurrent Validity. **Sensors (Basel, Switzerland)**, v. 18, n. 3, 28 fev. 2018.

ALTMANN, V. C. et al. The impact of trunk impairment on performance-determining activities in wheelchair rugby. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 27, n. 9, p. 1005–1014, 2016.

ALTMANN, V. C. et al. Classifying trunk strength impairment according to the activity limitation caused in wheelchair rugby performance. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 28, n. 2, p. 649–657, 2017.

BECKMAN, E. M.; CONNICK, M. J.; TWEEDY, S. M. Assessing muscle strength for the purpose of classification in Paralympic sport: A review and recommendations. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 20, n. 4, p. 391–396, 1 abr. 2017.

BERGAMINI, E. et al. Wheelchair Propulsion Biomechanics in Junior Basketball Players: A Method for the Evaluation of the Efficacy of a Specific Training Program. **BioMed Research International**, v. 2015, p. 1–10, 2015.

BONINGER, M. L. et al. Propulsion patterns and pushrim biomechanics in manual wheelchair propulsion. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, v. 83, n. 5, p. 718–723, maio 2002.

BOOTH, A. et al. The nuts and bolts of PROSPERO: an international prospective register of systematic reviews. **Systematic Reviews**, v. 1, n. 1, p. 2, dez. 2012.

BORREN, G. L. et al. Classification Efficiency in Wheelchair Rugby: Throwing Analysis. **IFAC Proceedings Volumes**, v. 47, n. 3, p. 4772–4777, 2014.

BRASILE, F. M. Wheelchair Basketball Skills Proficiencies versus Disability Classification. **Adapted Physical Activity Quarterly**, v. 3, n. 1, p. 6–13, jan. 1986.

BRASILE, F. M. Performance Evaluation of Wheelchair Athletes: More than a Disability Classification Level Issue. **Adapted Physical Activity Quarterly**, v. 7, n. 4, p. 289–297, out. 1990.

CHUNG, P. Y. M.; NG, G. Y. F. Comparison between an accelerometer and a three-dimensional motion analysis system for the detection of movement. **Physiotherapy**, v. 98, n. 3, p. 256–259, set. 2012.

Classification Model Rules for Para Sports. [s.l.] International Paralympic Committee (IPC), 2017.

CONNICK, M. J. et al. Cluster analysis of novel isometric strength measures produces a valid and evidence-based classification structure for wheelchair track racing. **British Journal of Sports Medicine**, v. 52, n. 17, p. 1123–1129, 2017.

DE GROOT, S. et al. Validity and reliability of tests determining performance-related components of wheelchair basketball. **Journal of Sports Sciences**, v. 30, n. 9, p. 879–887, maio 2012.

DE WITTE, A. M. H. et al. Development, construct validity and test–retest reliability of a field-based wheelchair mobility performance test for wheelchair basketball. **Journal of Sports Sciences**, v. 36, n. 1, p. 23–32, 2017.

DOWNES, M. J. et al. Development of a critical appraisal tool to assess the quality of cross-sectional studies (AXIS). **BMJ Open**, v. 6, n. 12, p. e011458, dez. 2016.

GHISLIERI, M. et al. Wearable Inertial Sensors to Assess Standing Balance: A Systematic Review. **Sensors**, v. 19, n. 19, p. 4075, 20 set. 2019.

GIL, S. M. et al. The Functional Classification and Field Test Performance in Wheelchair Basketball Players. **Journal of Human Kinetics**, v. 46, n. 1, p. 219–230, 1 jun. 2015.

GOOSEY-TOLFREY, V. L.; MASON, B.; BURKETT, B. The role of the velocometer as an innovative tool for Paralympic coaches to understand wheelchair sporting training and interventions to help optimise performance. **Sports Technology**, v. 5, n. 1–2, p. 20–28, fev. 2012.

HARBALIS, T.; HATZIGEORGIADIS, A.; THEODORAKIS, Y. SELF-TALK IN WHEELCHAIR BASKETBALL: THE EFFECTS OF AN INTERVENTION PROGRAM ON DRIBBLING AND PASSING PERFORMANCE. **INTERNATIONAL JOURNAL OF SPECIAL EDUCATION**, v. 23, n. 3, p. 8, 2008.

HARRO, C. C.; GARASCIA, C. Reliability and Validity of Computerized Force Platform Measures of Balance Function in Healthy Older Adults: **Journal of Geriatric Physical Therapy**, v. 42, n. 3, p. E57–E66, 2019.

HEO, J. et al. Machine Learning-Based Model for Prediction of Outcomes in Acute Stroke. **Stroke**, v. 50, n. 5, p. 1263–1265, 2019.

HIGGINS, J. P.; GREEN, S. Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions : Cochrane Book Series. p. 674, 2008.

HYDE, A. et al. The Impact of an Assistive Pole, Seat Configuration, and Strength in Paralympic Seated Throwing. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 12, n. 7, p. 977–983, 2016.

IOSA, M. et al. Wearable inertial sensors for human movement analysis. **Expert Review of Medical Devices**, v. 13, n. 7, p. 641–659, 2 jul. 2016.

IPC Athlete Classification Code. [s.l.] International Paralympic Committee (IPC), 2015.

IWBF Official Player Classification Manual. [s.l.] IWBF, 2014.

IWRF Classification Manual. 3. ed. [s.l.] IWRF, 2015.

KIANIFAR, R. et al. Inertial measurement unit-based pose estimation: Analyzing and reducing sensitivity to sensor placement and body measures. **Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Engineering**, v. 6, 14 jan. 2019.

KOONTZ, A. M. et al. Manual wheelchair propulsion patterns on natural surfaces during start-up propulsion. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, v. 90, n. 11, p. 1916–1923, nov. 2009.

LAFERRIER, J. Z. et al. Technology to improve sports performance in wheelchair sports. **Sports Technology**, v. 5, n. 1–2, p. 4–19, 1 jan. 2012.

MARSZALEK, J. et al. Test–retest reliability of the newly developed field-based tests focuses on short time efforts with maximal intensity for wheelchair basketball players. **Advances in Rehabilitation**, v. 2019, n. 1, p. 23–27, 2019.

MASON, B. S. et al. Validity and reliability of isometric tests for the evidence-based assessment of arm strength impairment in wheelchair rugby classification. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 23, n. 6, p. 559–563, 2019.

MASON, B. S.; RHODES, J. M.; GOOSEY-TOLFREY, V. L. Validity and reliability of an inertial sensor for wheelchair court sports performance. **Journal of Applied Biomechanics**, v. 30, n. 2, p. 326–331, abr. 2014.

MOHER, D. et al. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. **Physical Therapy**, 1 set. 2009.

MOLIK, B. et al. Wheelchair basketball skill tests: differences between athletes' functional classification level and disability type. p. 9, 2010.

MORRIËN, F.; TAYLOR, M. J. D.; HETTINGA, F. J. Biomechanics in Paralympics: Implications for Performance. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 12, n. 5, p. 578–589, maio 2017.

Paralympic Sports - List of Para Sports and Events. Disponível em: <<https://www.paralympic.org/sports>>. Acesso em: 14 ago. 2020.

RIETVELD, T. et al. Wheelchair mobility performance of elite wheelchair tennis players during four field tests: Inter-trial reliability and construct validity. **PLoS ONE**, v. 14, n. 6, 6 jun. 2019.

ROLDAN, A. et al. Inter-Rater Reliability, Concurrent Validity and Sensitivity of Current Methods to Assess Trunk Function in Boccia Player with Cerebral Palsy. **Brain Sciences**, v. 10, n. 3, 26 fev. 2020.

SALIMI, Z.; FERGUSON-PELL, M. W. Investigating the test-retest reliability of Illinois Agility Test for wheelchair users. **PLOS ONE**, v. 15, n. 10, p. e0241412, 29 out. 2020.

- SANTOS, P. B. R. et al. Seated limits-of-stability of athletes with disabilities with regard to competitive levels and sport classification. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 27, n. 12, p. 2019–2026, dez. 2017.
- SAVITZ, H. M. **Wheelchair Champions: A History of Wheelchair Sports**. [s.l.] iUniverse, 2006.
- SHEPHERD, J. B. et al. A Literature Review Informing an Operational Guideline for Inertial Sensor Propulsion Measurement in Wheelchair Court Sports. **Sports (Basel, Switzerland)**, v. 6, n. 2, 13 abr. 2018.
- SOUZA, R. B. An Evidence-Based Videotaped Running Biomechanics Analysis. **Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America**, v. 27, n. 1, p. 217–236, fev. 2016.
- SQUAIR, J. W. et al. Autonomic testing for prediction of competition performance in Paralympic athletes. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 28, n. 1, p. 311–318, 2017.
- STARK, T. et al. Hand-held Dynamometry Correlation With the Gold Standard Isokinetic Dynamometry: A Systematic Review. **PM&R**, v. 3, n. 5, p. 472–479, maio 2011.
- STEEVES, D. et al. Reliability and Validity of a Novel Trunk-Strength Assessment for High-Performance Sprint Flat-Water Kayakers. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 14, n. 4, p. 486–492, 1 abr. 2019.
- TACHIBANA, K. et al. Influence of Functional Classification on Skill Tests in Elite Female Wheelchair Basketball Athletes. **Medicina**, v. 55, n. 11, p. 740, 15 nov. 2019.
- TOFT NIELSEN, E. et al. Validation of an inertial measurement unit to determine countermovement jump height. **Asia-Pacific Journal of Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation and Technology**, v. 16, p. 8–13, 8 out. 2018.
- TWEEDY, S. M. Taxonomic Theory and the ICF: Foundations for a Unified Disability Athletics Classification. **Adapted Physical Activity Quarterly**, v. 19, n. 2, p. 220–237, abr. 2002.
- TWEEDY, S. M.; VANLANDEWIJCK, Y. C. International Paralympic Committee position stand—background and scientific principles of classification in Paralympic sport. v. 45, p. 259–269, 2014.
- UNGERER, G. Classification in para sport for athletes following cervical spine trauma. **Handbook of Clinical Neurology**, v. 158, p. 371–377, 2018.
- USMA-ALVAREZ, C. C. et al. Advanced performance analysis of the Illinois agility test based on the tangential velocity and turning radius in wheelchair rugby athletes. **Sports Technology**, v. 3, n. 3, p. 204–214, ago. 2010.
- VAN DER SLIKKE, R. M. A. et al. Opportunities for measuring wheelchair kinematics in match settings; reliability of a three inertial sensor configuration. **Journal of Biomechanics**, v. 48, n. 12, p. 3398–3405, 18 set. 2015.

VAN DER SLIKKE, R. M. A. et al. Speed profiles in wheelchair court sports; comparison of two methods for measuring wheelchair mobility performance. **Journal of Biomechanics**, v. 65, p. 221–225, 8 dez. 2017.

VAN DER SLIKKE, R. M. A. et al. The Future of Classification in Wheelchair Sports: Can Data Science and Technological Advancement Offer an Alternative Point of View? **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 13, n. 6, p. 742–749, 2018a.

VAN DER SLIKKE, R. M. A. et al. Wheelchair Mobility Performance Enhancement by Changing Wheelchair Properties: What Is the Effect of Grip, Seat Height, and Mass? **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 13, n. 8, p. 1050–1058, 1 set. 2018b.

VAN DER SLIKKE, R. M. A. et al. Wearable Wheelchair Mobility Performance Measurement in Basketball, Rugby, and Tennis: Lessons for Classification and Training. **Sensors (Basel, Switzerland)**, v. 20, n. 12, 21 jun. 2020.

VANLANDEWIJCK, Y.; VERELLEN, J.; TWEEDY, S. Towards evidence-based classification in wheelchair sports: impact of seating position on wheelchair acceleration. **Journal of sports sciences**, v. 29, n. 10, jul. 2011.

Wheelchair Tennis Classification Rules. [s.l.] International Tennis Federation, 2019.

WPA Classification Rules and Regulations. [s.l.] World Para Athletics, 2018.

ANEXOS

ANEXO 1: Ferramenta Appraisal for Cross-Sectional Studies (AXIS tool)

[illegible]

foram justificadas pelos resultados?										
18. As limitações do estudo foram discutidas?	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Other										
19. Houve alguma fonte de financiamento ou conflito de interesse que pode afetar a interpretação dos autores dos resultados?	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
20. A aprovação ética ou consentimento dos participantes foi obtido?	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S

Legenda: N = não; S = sim; NR = não reportado.