

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM GESTÃO DE REDES DE
TELECOMUNICAÇÕES
PUC – CAMPINAS

CAROLINA FERNANDES FRANGETO

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE TELEMETRIA PARA CORRIDAS DE KART

Campinas-SP
2023

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM GESTÃO DE REDES DE
TELECOMUNICAÇÕES
PUC – CAMPINAS

CAROLINA FERNANDES FRANGETO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Gestão de Redes de Telecomunicações da Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito para obtenção do título de Mestre em Gestão de Redes de Telecomunicações. Orientadora: Prof.^a Dr.^a Lia Toledo Moreira Mota.

Campinas-SP

2023

Ficha catalográfica elaborada por Fabiana Rizziolli Pires CRB 8/6920
Sistema de Bibliotecas e Informação - SBI - PUC-Campinas

629.228 Frangeto, Carolina Fernandes
F827d

Desenvolvimento de sistema de telemetria para corridas de kart / Carolina Fernandes Frangeto. - Campinas: PUC-Campinas, 2023.

95 f.

Orientador: Lia Toledo Moreira Mota.

Dissertação (Mestrado em Gestão de Redes de Telecomunicações) - Programa de Pós-Graduação em Gestão de Redes de Telecomunicações, Escola Politécnica, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2023.

Inclui bibliografia.

1. Carros de corrida. 2. Telemetria. 3. Análise de dados. I. Mota, Lia Toledo Moreira. II. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Escola Politécnica. Programa de Pós-Graduação em Gestão de Redes de Telecomunicações. III. Título.

23. ed. CDD 629.228

CAROLINA FERNANDES FRANGETO

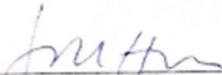
**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE TELEMETRIA
PARA CORRIDAS DE KART**

Dissertação apresentada como exigência para obtenção do título de Mestre em Gestão de Redes de Telecomunicações ao Programa de Pós-Graduação em Gestão de Redes de Telecomunicações do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias.
Área de Concentração: Gestão de Redes e Serviços.
Orientador (a): Profa. Dra. Lia Toledo Moreira Mota.

Dissertação defendida e aprovada em 29 de junho de 2023 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:



Profa. Dra. Lia Toledo Moreira Mota
Orientadora da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Prof. Dr. Frank Behrens
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Prof. Dr. Geraldo Caixeta
Universidade São Francisco - USF

AGRADECIMENTOS

A Deus,

Por todas as oportunidades e bençãos.

Ao meu esposo Felipe Bariani.

Pelo apoio, incentivo e compreensão em todos os momentos.

À minha família,

Por todo apoio e compreensão.

Aos meus colegas e amigos,

Por todo apoio e colaboração.

À Prof.a Dra Lia Toledo Moreira Mota,

Por toda orientação, colaboração e amizade.

À PUC-Campinas,

Pela oportunidade de realizar esse curso com a bolsa Reitoria de 50%.

RESUMO

O kart indoor é uma modalidade do automobilismo que vem ganhando espaço nacionalmente e grandes investidores. É formado por equipes ou pilotos individuais, onde em alguns campeonatos os pilotos se revezam durante a corrida e o restante da equipe fica nos boxes monitorando e acompanhando todo desempenho dos karts e pilotos. Nessa pesquisa percebe-se como uma oportunidade a proposição de um sistema de telemetria de baixo custo, incorporada a um hardware proprietário para monitoramento físico do piloto e o desempenho do kart.

Nesta proposta utilizou-se uma placa de desenvolvimento de hardware aberto já disponível no mercado como o ESP32 LoRa com WiFi integrado, Bluetooth 4.2 e com sensores acoplados. Esta placa de desenvolvimento tem como propósito neste projeto validar a aplicação em tempo hábil e acelerar o desenvolvimento do código e realizar testes iniciais em campo, corridas e treinos em kartódromos. Após as validações iniciais será desenvolvido um hardware proprietário, robusto e de baixo custo.

O sistema de telemetria para corridas de kart consiste em um dispositivo com display, sensores e armazenamento dos dados coletados. O dispositivo atua coletando medidas como velocidade, temperatura ambiente, umidade, posição, tempo de volta e duração da corrida. Uma pulseira conectada ao piloto faz o monitoramento do estado físico, estresse e emoção do piloto durante a corrida, com sensores de temperatura, pressão arterial, oxímetro e frequência cardíaca que envia os dados coletados via BLE para o dispositivo no kart.

Foi obtido a validação do sistema para esta aplicação e o desenvolvimento de um sistema robusto e de baixo custo para monitoramento do kart e dos pilotos durante as corridas, obtendo informações essenciais para o melhor desempenho da equipe.

Palavras-Chave: telemetria, corridas de kart, desempenho automobilístico, análise de dados, estratégias de corrida.

ABSTRACT

Indoor kart is a modality of motorsport that has gaining space nationally and attracting major investors. During the championships the support team stay in the boxes monitoring the performance of the karts and driver. Some competitions, called Endurance, races can last for hours and consider drivers and karts change in a same team, so a need for real-time monitoring is evident to coordinate and align strategies in shot time decisions, to looking for better results. Telemetry is the way to monitor the performance the indoor kart race. There are some telemetry systems available for this purpose, but they are costly or is limited in their application in addition they do not focusing on one important variable the drivers' stress throughout the race. This research sees the proposition of a telemetry system with proprietary level hardware to monitor, through pilot's, and the kart's performance, as an opportunity. This information can contribute to the best performance of the team during the race. The proposal is to develop a board, with open hardware available on the market, such as the ESP32 LoRa with integrated Wi-Fi, Bluetooth 4.2, and with sensors attached. This board use will allow to speed up code development and initial field tests. After the initial validations, will be developed a proprietary, robust, and low-cost hardware. The telemetry system for kart racing will consist of Display device, sensors, and processing of collected data. In each kart, there will be a device with sensors to collect measurements such as speed, ambient temperature, humidity, position, lap time, and race duration. Bracelet for monitoring the driver's physical and mood performance during the race, through observations as temperature, blood pressure, oximeter, and heart rate sensors. These collected data will be sent via BLE to the device in the kart. This study was partially financed by the Reitoria PUC Campinas Brazil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Resposta dos pilotos sobre os dados mais importantes a serem disponibilizados no display	15
Figura 2 - Diagrama esquemático do sistema de telemetria.....	23
Figura 3 - Diagrama de funcionalidade do sistema proposto	24
Figura 4 - Placa Heltec	25
Figura 5- Placa de desenvolvimento ESP32.....	26
Figura 6- Esquemático do módulo ESP32.....	27
Figura 7 - Pinout do GPS Neo 6M	28
Figura 8- Protoboard de teste com o GPS uBlox Neo-6M.....	29
Figura 9- Módulo Leitor Cartão Micro SD.....	30
Figura 10 - Módulo DC DC conversor para alimentação do SD card	32
Figura 11 - Arquitetura gravação pulseira	34
Figura 12 - Pulseira LilyGO.....	35
Figura 13 - Módulo de expansão MAX30102 LilyGo	36
Figura 14 - Módulo BPM adaptado	37
Figura 15 - Adaptação no conector da pulseira.....	37
Figura 16 - Pulseira com o módulo de BPM	37
Figura 17- Orientação dos eixos do sensor MPU-9250	38
Figura 18 - Funcionamento do módulo MPU-9250.....	40
Figura 19 - Start e Stop do barramento I2C.....	41
Figura 20 - IDE Arduino.....	41
Figura 21 - Fluxograma dos códigos	43
Figura 22 – Layout da PCI	44
Figura 23 - Imagem 3D PCI	45
Figura 24 - Imagem 3D BOT.....	45
Figura 25 - Display acoplado ao kart	51
Figura 26 - Preparação antes da corrida.....	52
Figura 27 - Setup de simulação de corridas online.....	52
Figura 28 - Protótipo desenvolvido	54
Figura 29 - Tela data e hora da pulseira	55
Figura 30 - Tela do acelerômetro da pulseira.....	55
Figura 31 - Tela do sensor de BPM da pulseira	55
Figura 32- Resultados Copa KVR.....	57
Figura 33 – Comportamento da frequência cardíaca e da velocidade no treino 1.....	57
Figura 34 - Comportamento da frequência cardíaca e da velocidade no treino 2.....	58
Figura 35 – BPM treino simulador.....	59
Figura 36 – Frequência cardíaca com o piloto em repouso	60
Figura 37 - Velocidade coletada no treino 1 realizado no KNO – Evento 2.....	61
Figura 38 - Frequência cardíaca coletada no treino 1 realizado no KNO – Evento 2	62
Figura 39 - Frequência cardíaca coletada no treino 2 realizado no KNO – Evento 2	62
Figura 40 - Média da velocidade	63
Figura 41 - Velocidade coletada no campeonato KVR – Evento 1	63
Figura 42 - Amostras coletadas durante os testes	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Detalhamento para fabricação da PCI	46
Tabela 2- Consumo dispositivo kart	48
Tabela 3 – Custos do protótipo	49
Tabela 4 - Descrição dos testes	50
Tabela 5 - Comparação BPM em diferentes testes	56
Tabela 6 - Médias BPM treino 1	58
Tabela 7 - Médias BPM KNO treino 2	59
Tabela 8 - Médias BPM Simulador.....	60
Tabela 9 - Médias BPM em repouso.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LORA - “Long Range” (longo alcance)

WAN (Wide Area Network – rede de longo alcance)

F1 – Formula 1

BPM – batimentos por minuto

SD - Secure Digital

GPS - Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global).

BLE - Bluetooth Low Energy

GPIOs - General Purpose Input/Output

Wi-Fi - Wireless Fidelity

PWM - Pulse Width Modulation (modulação por largura de pulsos)

RAM – Random-Access Memory (memória de acesso aleatório)

IDE - Integrated Development Environment

USB - Universal Serial Bus (Porta Serial Universal)

IoT - Internet das Coisas

WAAS - WiFi-as-a-Service (WiFi como um serviço)

FAT32 - exFAT - File Allocation Table (Tabela de Alocação de Arquivos)

LCD - Liquid Crystal Display (cristal líquido)

LED - Light-Emitting Diode (Diodo Emissor de Luz)

MCM - Multi-Chip Module

I2C - Inter-Integrated Circuit (Circuito Interintegrado)

SPI - Serial Peripheral Interface

MPU - Microprocessor Unit

SCL - Serial Clock

SDA - Serial Data

PCIs - Placas de Circuito Impresso

Li-ion - bateria de íon de lítio

mAh - miliampere-hora

PTH - Pin Trough Hole

IP66 - International Protection level 66 (Proteção Internacional nível 66)

HP - Horse Power (Unidade física de potência)

KNO – Kartódromo de Nova Odessa SP

KVR – Kartódromo de Volta Redonda RJ

CSV – Arquivod de texto (valores separados por vírgulas) do ingles “Comma Separated Values”

RF – Rádio frequência

Km/h - quilômetro/hora

Km - quilômetro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 JUSTIFICATIVA	15
1.2 OBJETIVO.....	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 Telemetria para corridas de kart	18
2.2 Monitoramento cardíaco em atividades físicas	19
2.3 Monitoramento cardíaco no automobilismo	20
2.4 Monitoramento cardíaco no simulador.....	21
3. METODOLOGIA.....	22
3.1 Sistema de Telemetria.....	22
3.1.1 Display ESP32 – Dispositivo kart	24
3.1.1.1 Componentes da placa ESP32 Heltec LoRa.....	24
3..1.1.2 Desenvolvimento de firmware	26
3.1.2 Descrição do funcionamento do Módulo GPS	27
3.1.3 Armazenamento no SD Card	30
3..1.4 Módulo conversor de tensão	30
3.1.5 Pulseira LilyGo.....	32
3.1.6 Descrição do funcionamento do Sensor de Monitoramento Cardíaco	35
3.1.7 Descrição do funcionamento do módulo MPU-9250	38
3.1.7.1 Descrição do funcionamento do protocolo I2C	39
3.1.8 Arquitetura do Firmware	41
3.1.1.9 Desenvolvimento e montagem do protótipo	44
3.11.10 Lista de Componentes e Custo do protótipo	48
3.2 Testes em campo.....	49
3.2.1 Coleta de dados durante corridas de kart	50
3.2.2 Monitoramento da frequência cardíaca utilizando um simulador de corrida....	52
3.2.3 Coleta de dados de frequência cardíaca em repouso	53
3.2.4 Materiais utilizados nos testes.....	53
4 RESULTADOS	54
4.1 Protótipo desenvolvido	54

4.2 Dados coletados e resultados obtidos	56
4.2.1 Resultados obtidos para o evento 1 – Copa Brasil de Kart Indoor 2023	56
4.2.2 Resultados obtidos para o evento 2 – Treino livre	57
4.2.3 Resultados obtidos para o Monitoramento da frequência cardíaca utilizando um simulador de corrida	59
4.2.4 Resultados obtidos para a coleta de dados de frequência cardíaca em repouso	60
4.2.5 Análises	61
5 CONCLUSÃO.....	66
REFERÊNCIAS	67
7 APÊNDICES.....	70
7.1 APÊNDICE A – Questionário de Telemetria.....	70
7.2 APÊNDICE B – Respostas Questionário de telemetria	76
7.3 APÊNDICE C – Artigo ICMLA Conference 2021	86
7.4 APÊNDICE D – Código da Pulseira	90
7.5 APÊNDICE E – Código do Display Kart	92
7.6 APÊNDICE F – Esquemático da PCI	95
7.7 APÊNDICE G – Parecer CEP.....	96

1 INTRODUÇÃO

As corridas automotivas existem como entretenimento há décadas e, nesse cenário, o kart indoor é uma modalidade do automobilismo que vem ganhando espaço nacionalmente e grandes investidores.

Durante os campeonatos de kart, alguns membros da equipe ficam nos boxes, monitorando e acompanhando todo desempenho dos karts e dos pilotos. Em algumas competições, chamadas de Endurance, as corridas podem durar horas, com a necessidade de troca de pilotos e karts. Assim, o monitoramento dos sinais vitais do piloto é de fundamental importância para que o piloto e sua equipe obtenham informações essenciais para alinhar as estratégias e tomadas de decisões. A análise da resistência e condicionamento do piloto podem evitar acidentes na pista e são informações importantes para a equipe, por ser um esporte de alta intensidade e, em alguns casos, de longa duração. (ALFANO, 2022)

Nesse contexto, este trabalho trata da proposição de um sistema de telemetria de baixo custo, incorporado a um hardware proprietário, monitorando o estado físico do piloto e o desempenho do kart, visando contribuir para o melhor desempenho da equipe durante as corridas.

A telemetria é uma ferramenta essencial em competições automobilísticas de alto desempenho, permitindo aos engenheiros e pilotos coletar dados precisos sobre o desempenho do veículo em tempo real. Por ser um sistema de alto custo, esse trabalho é proposto para auxiliar os pilotos com informações essenciais fornecidas por um sistema de baixo custo.

O texto está organizado como se segue.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura sobre telemetria automobilística, destacando os principais conceitos e tecnologias envolvidos. Em seguida, é apresentada uma análise detalhada do contexto específico das corridas de kart, incluindo suas características, regulamentações e desafios técnicos.

O Capítulo 3 trata da metodologia utilizada para a implementação do sistema de telemetria proposto e dos testes realizados para a validação desse sistema.

O Capítulo 4 aborda os resultados obtidos e, finalmente, o Capítulo 5 apresenta as conclusões deste trabalho.

Este trabalho resultou em um artigo apresentado na Conferência ICMLA em 2021, *Monitoring Karting Pilot's Moodflow: a first experience* (apêndice C), trabalho realizado em conjunto com o Instituto nacional de informática no Japão, e com o CIRET na França (B. BLANCAN, 2021).

1.1 JUSTIFICATIVA

Esta pesquisa se justifica na medida em que propõe o desenvolvimento de um sistema de telemetria, visando contribuir para a promoção de um melhor desempenho de uma equipe de corrida de kart. O desenvolvimento deste sistema vem no sentido de atender os requisitos de um curso de mestrado profissional (desenvolvimento de hardware/software/protótipo).

Para avaliação das necessidades e exigências dos pilotos, foi desenvolvido um questionário (Apêndice A), respondido por 65 pilotos experientes de kart indoor, onde foram avaliadas todas as qualidades e defeitos de sistemas similares utilizados nessa aplicação, disponíveis comercialmente. Como resultado da pesquisa (Apêndice B), foi avaliado que 73% dos pilotos nunca utilizaram um sistema de telemetria devido ao alto custo dos equipamentos.

Figura 1- Resposta dos pilotos sobre os dados mais importantes a serem disponibilizados no display



Fonte: Autoria Própria.

Foi possível analisar as tecnologias existentes para melhor atender os pilotos, como por exemplo, utilizar um display de visualização com alguns dados mais relevantes durante a corrida e gerar um relatório para armazenamento na nuvem, criar um aplicativo para acesso de dados, entre outras informações. Foi questionado, também, quais dados eram relevantes para as análises dos pilotos, como apresentado na Figura 1. Das respostas obtidas, nota-se que é essencial que eles vejam durante a corrida os dados de tempo de volta atual e tempo da melhor volta.

Outro ponto importante é a análise dos batimentos cardíacos durante as corridas de kart. A seguir, alguns benefícios dessa análise:

- a) Monitoramento do esforço físico: os batimentos cardíacos são um indicador direto do esforço físico e da intensidade do exercício. Ao monitorar a frequência cardíaca durante as corridas de kart, é possível ter uma ideia mais precisa do quão duro o piloto está trabalhando e da carga cardiovascular que está sendo imposta ao corpo.
- b) Determinação das zonas de treinamento: com base nos batimentos cardíacos, é possível estabelecer zonas de treinamento que indicam diferentes níveis de intensidade. Por exemplo, uma zona de treinamento aeróbico alvo pode ser definida para garantir que o piloto esteja treinando dentro de uma faixa ideal para melhorar sua capacidade cardiovascular.
- c) Avaliação do condicionamento físico: ao longo do tempo, a análise dos batimentos cardíacos pode ajudar a avaliar o condicionamento físico do piloto. Mudanças na frequência cardíaca em relação à mesma carga de trabalho podem indicar melhorias ou declínios na aptidão cardiovascular.
- d) Gerenciamento do esforço durante as corridas: pode ajudar o piloto a gerenciar o esforço de forma mais eficaz. Manter-se dentro de uma faixa alvo de frequência cardíaca pode ajudar a otimizar o desempenho, evitar a fadiga excessiva e melhorar a resistência.
- e) Recuperação pós-corrida: uma recuperação mais rápida pode indicar um bom condicionamento cardiovascular, enquanto uma recuperação lenta pode sugerir fadiga ou falta de condicionamento.

1.2 OBJETIVO

Este trabalho teve por objetivo desenvolver um sistema de telemetria robusto e de baixo custo para monitorar e controlar o desempenho dos pilotos em corridas de kart.

Objetivos específicos:

- Prover informações suficientes para a equipe analisar o desempenho em cada corrida.
- Desenvolver hardware proprietário e robusto para coleta de dados.
- Monitorar a frequência cardíaca do piloto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Durante a revisão bibliográfica, foi verificada a existência de poucos artigos sobre o tema proposto. Entretanto, foram encontrados alguns artigos relacionados a telemetria utilizando a tecnologia GPS em outras aplicações, que se mostraram úteis para este trabalho.

Em (SANCHEZ- IBORRA et al, 2019), a tecnologia GPS foi aplicada em uma pesquisa no ambiente marítimo em corridas de veleiros resultando bons níveis de cobertura, abordando pesquisas sobre eficiência energética testadas durante os treinamentos.

Segundo (SOUSA; PAULA; HONÓRIO, 2022), a tecnologia GPS, módulo NEO-6M, em conjunto com o microcontrolador EPS32, foi utilizada para aquisição de variáveis atmosféricas em uma sonda, obtendo ótimos resultados, tanto tecnicamente como cientificamente. Esse resultado é importante para este trabalho, pois foram utilizados os mesmos materiais no desenvolvimento do sistema de telemetria aqui proposto.

2.1 Telemetria para corridas de kart

A telemetria para corridas de kart tem se mostrado cada vez mais importante e impactante no mundo do automobilismo. A telemetria permite a coleta e análise de dados em tempo real durante as corridas, fornecendo informações valiosas sobre o desempenho do kart e do piloto. A telemetria oferece uma visão abrangente e precisa de diversos parâmetros, como velocidade, aceleração, frenagem, curvas, rotação do motor e consumo de combustível. Além disso, com a integração de sensores adicionais, como o monitoramento do batimento cardíaco, é possível obter dados sobre o estado físico e emocional do piloto durante a corrida (Thin, A.G. et al. , 2011) .

Com base nos dados coletados, os engenheiros e pilotos podem realizar análises aprofundadas para identificar pontos fortes e fracos, tomar decisões estratégicas, ajustar o setup do kart e otimizar o desempenho. Essa análise objetiva e baseada em dados permite um aprimoramento contínuo do desempenho, maximizando o potencial do kart e do piloto.

A telemetria também traz benefícios para a segurança. Ao analisar os dados coletados, é possível identificar padrões de comportamento perigoso, detectar falhas mecânicas ou verificar se os limites de segurança estão sendo respeitados. Isso contribui para a redução de acidentes e promove um ambiente mais seguro para os pilotos (MYCHRON, 2019).

Em resumo, a telemetria para corridas de kart desempenha um papel fundamental na busca por desempenho aprimorado, estratégias mais eficientes, segurança aprimorada e no aperfeiçoamento contínuo do esporte. Ela oferece uma visão abrangente e precisa, permitindo tomadas de decisão embasadas em dados e impulsionando o crescimento e a evolução das equipes e pilotos (TELEMETRIA, 2017).

2.2 Monitoramento cardíaco em atividades físicas

O monitoramento cardíaco em atividades físicas desempenha um papel crucial na otimização do treinamento, no controle da intensidade do exercício e na promoção da saúde e segurança dos praticantes. Através do monitoramento do batimento cardíaco (frequência cardíaca), é possível obter informações valiosas sobre a resposta do organismo ao esforço físico e adaptar o treinamento de acordo com as necessidades individuais.

Algumas das principais razões que destacam a importância do monitoramento cardíaco em atividades físicas são:

- a) Avaliação do nível de intensidade: o batimento cardíaco é um indicador confiável da intensidade do exercício. Ao monitorar a frequência cardíaca durante uma atividade física, é possível determinar se a intensidade está adequada aos objetivos do treino, como treino aeróbico, resistência ou queima de gordura.
- b) Prevenção de lesões e *overtraining* (treinamento excessivo): o monitoramento cardíaco pode ajudar a prevenir lesões e o *overtraining*. Ao observar o comportamento do batimento cardíaco durante o exercício, é possível identificar sinais de fadiga excessiva ou sobrecarga cardiovascular,

permitindo que o praticante ajuste a intensidade ou faça pausas adequadas para evitar lesões ou exaustão.

- c) Feedback em tempo real: através de dispositivos portáteis, como relógios ou monitores cardíacos, é possível receber feedback em tempo real sobre a frequência cardíaca durante o exercício. Isso permite que os praticantes ajustem a intensidade do treino imediatamente, mantendo-se dentro das zonas de treinamento desejadas.

Em resumo, o monitoramento cardíaco em atividades físicas fornece informações cruciais para a otimização do treinamento, prevenção de lesões, controle da intensidade do exercício e promoção da saúde. (FORSDYKE, SMITH, JONES, et al, 2016).

2.3 Monitoramento cardíaco no automobilismo

O monitoramento cardíaco dos pilotos de Fórmula 1 é uma prática comum e importante para garantir a segurança e o desempenho dos competidores durante as corridas. O monitoramento cardíaco é realizado para acompanhar a frequência cardíaca, o ritmo e outros parâmetros relacionados à saúde cardiovascular dos pilotos durante as corridas. Isso é feito por meio de sensores colocados no corpo dos pilotos, que registram os sinais elétricos do coração.

Existem vários motivos para o monitoramento cardíaco dos pilotos de Fórmula 1. Primeiro, a alta velocidade, a intensidade física e as forças G, que é uma medida de força correspondente a aceleração de um objeto em movimento, normalizada em relação à força gravitacional, (BROUGHALL, 2020) enfrentadas durante as corridas podem colocar um estresse significativo no corpo dos pilotos, incluindo o sistema cardiovascular. Monitorar a saúde cardíaca ajuda a identificar qualquer problema ou anormalidade que possa afetar a capacidade do piloto de competir com segurança.

Além disso, o monitoramento cardíaco também permite que as equipes de corrida coletem dados valiosos sobre o desempenho dos pilotos. A frequência cardíaca e outras variáveis cardiovasculares podem fornecer informações sobre o nível de esforço físico, a

resposta ao estresse e a fadiga do piloto durante a corrida. Esses dados podem ser usados para ajustar a estratégia de corrida, otimizar o treinamento físico e melhorar o desempenho geral dos pilotos.

Os dados de monitoramento cardíaco dos pilotos são transmitidos em tempo real para as equipes, permitindo que os médicos e engenheiros monitorem a saúde e o desempenho cardiovascular dos pilotos durante as corridas. Se houver alguma anormalidade ou preocupação, as equipes podem agir rapidamente para garantir a segurança e o bem-estar dos pilotos.

No entanto, é importante ressaltar que as análises detalhadas dos dados de monitoramento cardíaco são geralmente realizadas por profissionais médicos especializados. Eles interpretam os resultados e fornecem informações relevantes às equipes, ajudando a tomar decisões informadas sobre a saúde e o desempenho dos pilotos.

Em resumo, o monitoramento cardíaco dos pilotos de Fórmula 1 é uma prática essencial para garantir a segurança e o desempenho durante as corridas. Ele fornece informações valiosas sobre a saúde cardiovascular dos pilotos e ajuda as equipes a otimizar o desempenho nas corridas.(O'NEILL, et al. , 2020).

2.4 Monitoramento cardíaco no simulador

O monitoramento físico do piloto durante uma simulação de corrida se mostra importante por ser um meio científico de comparação dos dados durante corridas reais. Portanto foi realizado testes em um simulador online e realizada a análise e comparação dos dados.

3. METODOLOGIA

Neste Capítulo, são descritos o conteúdo metodológico e os dispositivos utilizados para validação e montagem do sistema de telemetria e coleta de dados durante as corridas de kart. Para tal, foi utilizada uma metodologia de desenvolvimento de um protótipo a ser utilizado em uma aplicação prática, a partir do uso de dispositivos de desenvolvimento com hardware e software abertos.

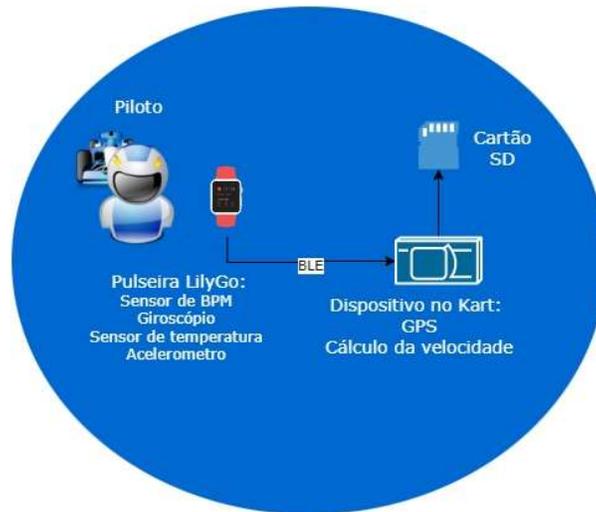
Nesse intuito, foi realizada a integração de vários módulos e sensores, resultando em dois dispositivos: um protótipo com display para o kart e uma pulseira para o piloto. Foram desenvolvidos dois códigos de programação, garantindo a funcionalidade de todos os módulos para a aplicação necessária neste trabalho.

Após o desenvolvimento e os testes iniciais dos dispositivos, o sistema foi testado em campo durante corridas em um kartódromo, onde os voluntários conectaram os dispositivos de coleta de dados nos karts e utilizaram a pulseira para a coleta de dados. Foram realizados testes com mais de um voluntário, porém para melhor comparação dos resultados, foi analisado somente os dados de um voluntário.

3.1 Sistema de Telemetria

Para o desenvolvimento do sistema de telemetria, foi necessária a utilização de dois equipamentos. O primeiro é um dispositivo que realiza a coleta dos dados no kart, apresentando as informações em um painel e armazenando os dados de telemetria em um cartão SD. O segundo equipamento é um smartwatch que monitora o condicionamento físico do piloto por meio de sensores. A Figura 2 ilustra o diagrama esquemático do sistema proposto.

Figura 2 - Diagrama esquemático do sistema de telemetria



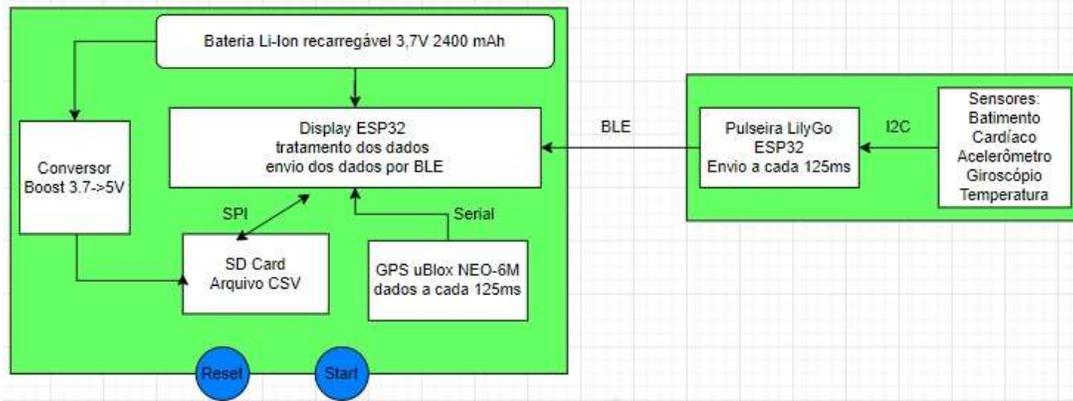
Fonte: Autoria Própria.

Foi acoplado ao kart um dispositivo que consiste em um GPS para traçar o circuito percorrido pelo kart e calcular a velocidade desenvolvida pelo mesmo, utilizando tecnologia Bluetooth Low Energy (BLE) para coletar dados do estado físico do piloto. Além disso, o dispositivo possui um display para visualização de informações essenciais, como velocidade, tempo de volta atual e tempo da melhor volta.

Para o monitoramento físico do piloto, foi desenvolvida uma pulseira equipada com sensores de temperatura, acelerômetro, giroscópio e monitoramento cardíaco. Essa pulseira envia os dados coletados por meio do BLE para o dispositivo acoplado ao kart.

A Figura 3 ilustra o diagrama de funcionalidade do sistema proposto.

Figura 3 - Diagrama de funcionalidade do sistema proposto



Fonte: Autoria Própria.

3.1.1 Display ESP32 – Dispositivo kart

No contexto deste trabalho, foi necessária a utilização de uma placa ESP32 Heltec LoRa integrada com um módulo GPS, bateria e sensores, como acelerômetro, giroscópio, magnetômetro, sensor de batimento cardíaco, temperatura. O objetivo foi validar a aplicação em tempo hábil, desenvolver o código e realizar testes iniciais em campo. A referida placa (Figura 5) é equipada com um processador dual-core Xtensa de 32 bits, possui 36 GPIO's disponíveis, integração Wi-Fi, Bluetooth 4.2, PWM, sensor de temperatura e sistema de recarga de bateria. Além disso, essa placa possui um módulo LoRaWAN implementado (SYSTEMS ESPRESSIF, 2022).

3.1.1.1 Componentes da placa ESP32 Heltec LoRa

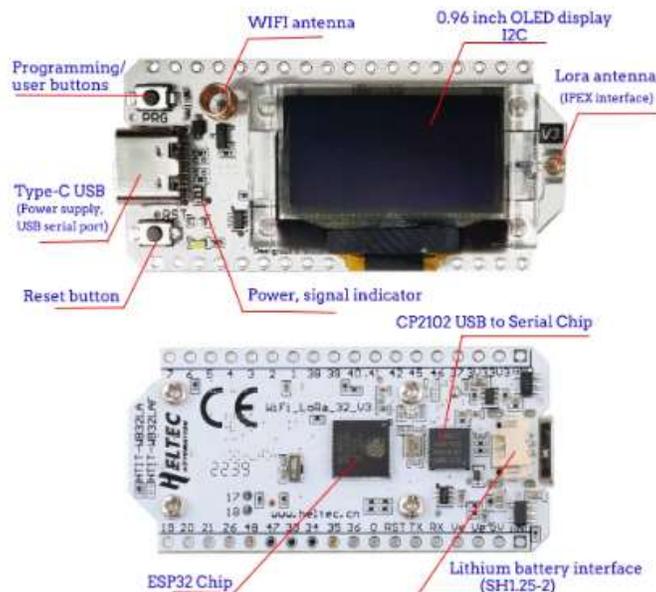
A placa ESP32 Heltec LoRa, ilustrada na figura 4, tem os principais componentes descritos abaixo:

- a) Microcontrolador ESP32: é o componente principal da placa, com um processador dual-core, memória RAM e Flash embutidas, além de

conectividade Wi-Fi e Bluetooth. Ele é responsável por executar o firmware do dispositivo e controlar as funcionalidades gerais.

- b) Módulo LoRa: A placa Heltec LoRa possui um módulo de rádio LoRa integrado. Esta é uma tecnologia de comunicação de longo alcance que permite a transmissão de dados em distâncias maiores do que as tecnologias convencionais de curto alcance, como Wi-Fi e Bluetooth. Ele é responsável por modular e demodular os dados para transmissão e recepção via rádio. Este módulo possui uma antena integrada projetada especificamente para a comunicação LoRa. Ela permite uma boa recepção e transmissão de sinais de rádio de longo alcance. O módulo também dispõe de uma antena integrada, permitindo uma boa recepção e transmissão de sinais de rádio de longo alcance. Este módulo não foi utilizado nesse trabalho, mas pode ser configurado para trabalhos futuros.
- c) Display: Display gráfico OLED de 0,96 polegadas com interface I2C, com 128x64 pixels.

Figura 4 - Placa Heltec



Fonte: (HELTEC LORA, 2022)

3..1.1.2 Desenvolvimento de firmware

Para utilizar a placa ESP32 Heltec LoRa figura 5, é necessário desenvolver um firmware personalizado para controlar as funcionalidades desejadas do dispositivo. Isso foi feito usando a plataforma de desenvolvimento Arduino IDE.

Programação e comunicação: A placa Heltec LoRa pode ser programada e comunicar-se com outros dispositivos por meio de uma interface USB ou usando a conectividade Wi-Fi e Bluetooth do chip ESP32. É possível enviar e receber dados por meio do módulo LoRa para estabelecer a comunicação de longo alcance com outros dispositivos compatíveis com ela.

Alimentação: A placa ESP32 Heltec LoRa pode ser alimentada por meio de uma porta USB ou por uma fonte externa. Além disso, ela possui um regulador de tensão interno que permite alimentar outros dispositivos externos por meio dos pinos disponíveis na placa.

A placa ESP32 Heltec LoRa é amplamente utilizada para aplicações de IoT, como monitoramento ambiental, rastreamento de ativos, agricultura inteligente, entre outros, onde é necessária uma comunicação de longo alcance e baixo consumo de energia (LORA, 2023).

Figura 5- Placa de desenvolvimento ESP32

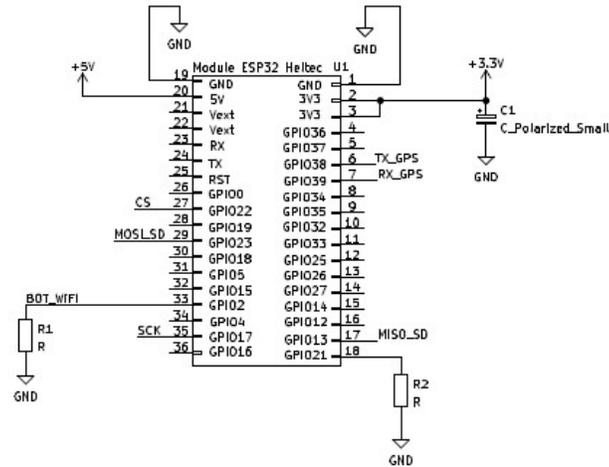


Fonte: Autoria Própria.

Para o sistema de telemetria proposto, foi desenvolvida uma placa para encaixe dos módulos e conexão entre eles, para isso foi utilizado somente os principais pinos de comunicação e alimentação conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6- Esquemático do módulo ESP32

ESP32 MODULE HELTEC

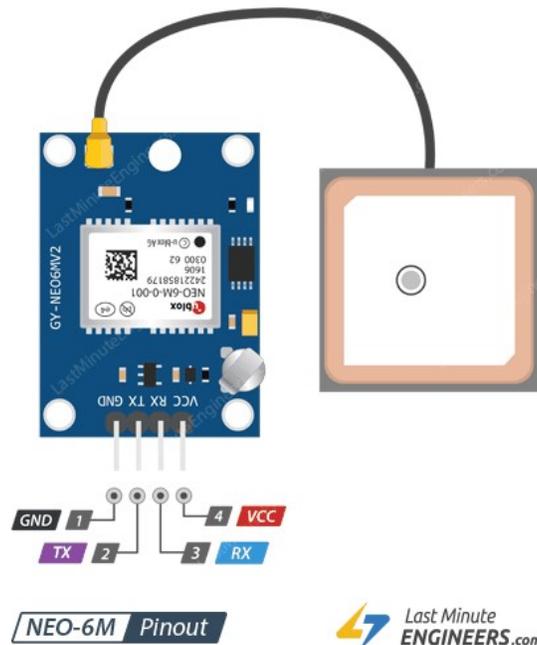


Fonte: Autoria Própria.

3.1.2 Descrição do funcionamento do Módulo GPS

O módulo GPS selecionado para este trabalho foi o Ublox Neo-6M (Figura 7). Esse módulo fornece dados da posição atual do kart e dados de tempo no formato NMEA 0183, com uma precisão de posicionamento de 10 metros sem o WAAS (Wide Area Augmentation System) e 5 metros com o WAAS. O WAAS é um sistema que fornece informações adicionais para melhorar a precisão e confiabilidade das estimativas de posição do GPS.

Figura 7 - Pinout do GPS Neo 6M



Fonte: (INTERFACE, 2023)

O referido módulo é amplamente utilizado para determinar a posição geográfica do kart, com base nos sinais recebidos de satélites em órbita. O seu funcionamento pode ser resumido da seguinte maneira:

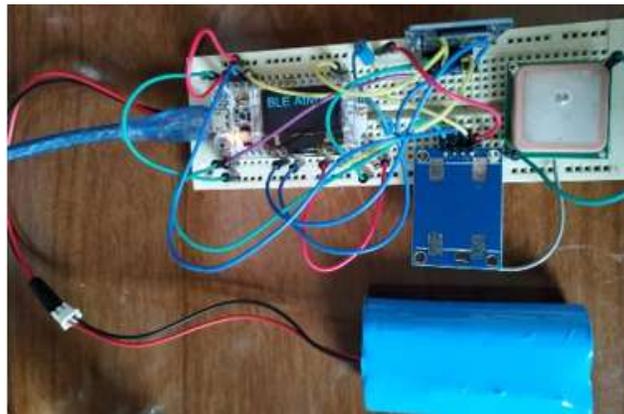
- a) Recebimento de sinais: por meio de uma antena embutida que capta os sinais de rádio transmitidos pelos satélites GPS. Esses sinais contêm informações sobre a posição e o tempo.
- b) Processamento dos sinais: o Neo-6M possui um chip receptor que processa os sinais recebidos da antena. Ele realiza a triagem, filtragem e amplificação dos sinais fracos para melhorar a precisão e a qualidade dos dados recebidos.
- c) Determinação da posição: o chip receptor do Neo-6M utiliza uma técnica chamada triangulação para calcular a posição do receptor. Ele mede a distância entre o módulo GPS e vários satélites, usando o tempo que leva para os sinais percorrerem o caminho. Quanto mais satélites estiverem disponíveis para o cálculo, mais precisa será a determinação da posição.

- d) Cálculo da posição: uma vez que o Neo-6M tenha informações suficientes dos satélites, ele utiliza algoritmos e equações matemáticas para calcular a latitude, longitude e altitude da posição atual. Esses dados são, então, disponibilizados para uso pelo dispositivo ou microcontrolador ao qual o módulo GPS está conectado.
- e) Atualização contínua: o módulo GPS Neo-6M continua a receber sinais dos satélites GPS e atualiza a posição em tempo real à medida em que o dispositivo se move. Além da posição geográfica, ele também fornece informações de velocidade, direção e tempo.

É importante destacar que o Neo-6M é apenas um dos muitos módulos GPS disponíveis no mercado, mas o princípio básico de funcionamento é semelhante para a maioria deles. O módulo pode ser conectado a microcontroladores, placas de desenvolvimento ou outros dispositivos para permitir a utilização das informações de localização em diferentes aplicações, como navegação, rastreamento de veículos, monitoramento de atividades ao ar livre, entre outros.

Nesse trabalho, inicialmente, foram realizados testes e o desenvolvimento do código foi feito a partir de um protótipo montado em uma protoboard (Figura 8).

Figura 8- Protoboard de teste com o GPS uBlox Neo-6M.



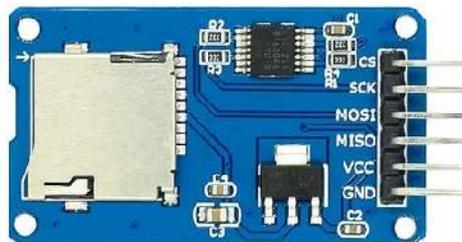
Fonte: Autoria Própria.

3.1.3 Armazenamento no SD Card

Neste trabalho, foi utilizado um módulo adaptador para leitor de cartão Micro SD com interface SPI para armazenar os dados coletados durante as corridas de kart. Esse módulo possui um chip conversor de nível e um regulador de tensão (Figura 9). A necessidade desse módulo é devido a necessidade de armazenamento dos dados para visualização e análise após o fim da corrida, como o dispositivo não tem monitoramento remoto, a solução encontrada foi a utilização do cartão SD.

O módulo adaptador do cartão Micro SD foi conectado aos pinos de comunicação SPI (Serial Peripheral Interface) do microcontrolador ESP32. A interface SPI permite a comunicação serial full-duplex entre dispositivos, com a troca de bits entre o dispositivo “mestre” (no caso, o microcontrolador ESP32) e o dispositivo “escravo” (o cartão Micro SD).

Figura 9- Módulo Leitor Cartão Micro SD



Fonte: (HRISKO, 2019)

3.1.4 Módulo conversor de tensão

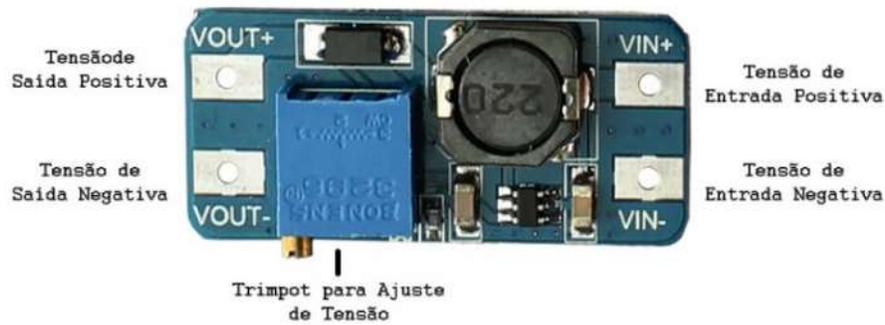
Neste trabalho, foi utilizado um módulo conversor de tensão DC-DC tipo boost (Figura 10) para alimentar o módulo do SD Card. Esse conversor é responsável por aumentar a tensão proveniente da bateria, que pode variar 3,0 e 4,2 Volts, para uma tensão constante de 5 Volts, que é a alimentação ideal para o funcionamento do módulo do SD Card.

Tal módulo é um conversor de tensão step-up, também conhecido como elevador de tensão, que permite aumentar a tensão de entrada para uma tensão maior na saída. Ele é comumente utilizado em projetos eletrônicos para fornecer uma fonte de energia estável para dispositivos que requerem uma tensão maior do que a disponível na fonte de alimentação original. O funcionamento básico do módulo DC-DC MT3608 é o seguinte:

- a) Tensão de entrada: o módulo DC-DC MT3608 aceita uma faixa de tensões de entrada relativamente ampla, geralmente entre 2V e 24V, dependendo do modelo específico. Essa tensão de entrada pode ser proveniente de uma bateria, uma fonte de alimentação ou qualquer outra fonte de tensão compatível.
- b) Conversão de tensão: o MT3608 é um conversor de tensão step-up, o que significa que ele aumenta a tensão de entrada para uma tensão maior na saída. Ele possui um circuito interno que realiza a conversão da tensão de entrada em uma tensão mais alta usando técnicas de chaveamento (switching).
- c) Configuração da tensão de saída: o módulo DC-DC MT3608 possui um potenciômetro (trimmer) que permite ajustar a tensão de saída desejada. Girando o potenciômetro no sentido horário ou anti-horário, é possível definir a tensão de saída de acordo com as necessidades do projeto.
- d) Eficiência e corrente de saída: o módulo MT3608 é projetado para fornecer alta eficiência na conversão de tensão. Ele é capaz de fornecer uma corrente de saída relativamente alta, dependendo da tensão de entrada e da tensão de saída configurada. No entanto, é importante observar as limitações de corrente do módulo e garantir que a carga não exceda esses limites.
- e) Proteção: alguns módulos DC-DC MT3608 possuem recursos de proteção, como proteção contra sobrecorrente e proteção contra curto-circuito, para evitar danos ao módulo e à carga conectada.
- f) Aplicações: o módulo DC-DC MT3608 é amplamente utilizado em projetos eletrônicos que requerem uma tensão de saída maior do que a tensão de entrada disponível. Ele pode ser usado, por exemplo, em projetos com microcontroladores, displays LCD, sensores, motores, entre outros dispositivos.

O uso do módulo conversor de tensão boost garante uma fonte de alimentação estável e adequada para o funcionamento do módulo do SD Card, permitindo o armazenamento adequado dos dados de telemetria durante as corridas de kart.

Figura 10 - Módulo DC DC conversor para alimentação do SD card



Fonte: (STRAUB,2019).

3.1.5 Pulseira LilyGo

A pulseira LilyGo, também conhecida como T-Wristband LilyGO (Figura 12), é um dispositivo vestível programável que oferece recursos de rastreamento de atividades físicas e monitoramento de saúde. Ela utiliza o ESP32-PICO-D4, que é um microcontrolador com conectividade Wi-Fi e Bluetooth integrada. Ela é compacta e possui uma bateria de 80mAh, que pode durar, aproximadamente, 27 horas. O funcionamento básico da T-Wristband LilyGO envolve os seguintes aspectos:

- a) Sensores: a pulseira é equipada com um sensor de frequência cardíaca, que monitora o pulso e mede a frequência cardíaca em tempo real. Além disso, possui um acelerômetro que detecta movimentos, permitindo rastrear atividades físicas, contar passos, calcular distâncias percorridas e estimar calorias queimadas.
- b) Monitoramento de saúde: a T-Wristband LilyGO é capaz de monitorar diferentes aspectos da saúde. Além da frequência cardíaca, pode fornecer informações sobre o nível de oxigênio no sangue (SpO2), qualidade do sono,

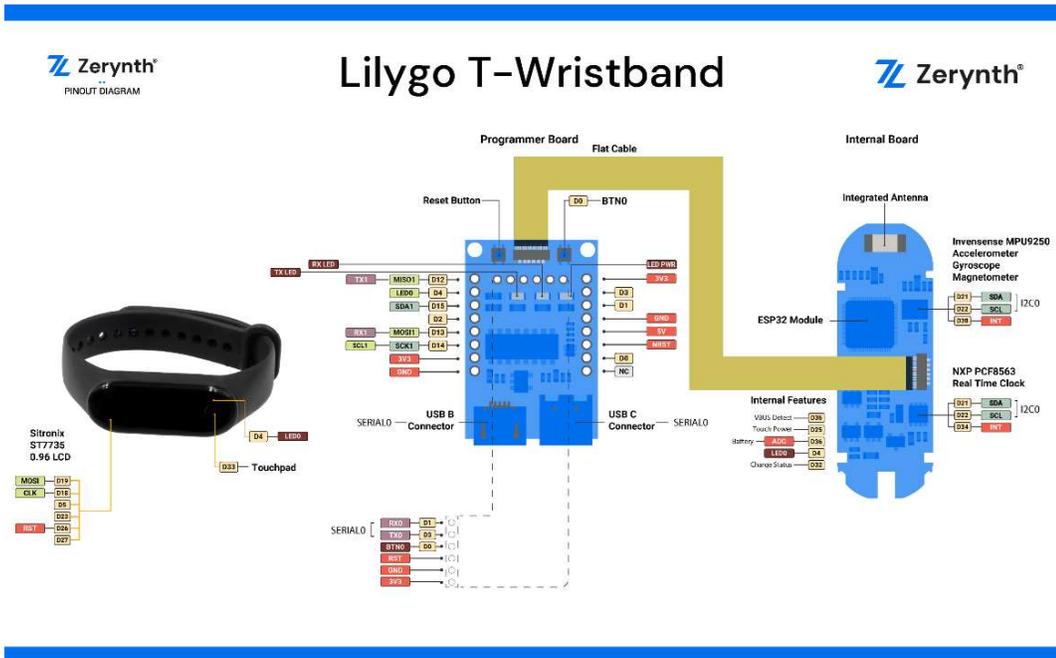
níveis de estresse e até mesmo medir a pressão arterial (embora seja importante ressaltar que as medições de pressão arterial podem não ser tão precisas quanto as obtidas por equipamentos médicos certificados).

- c) Tela OLED: a pulseira possui uma tela OLED integrada que exibe informações como hora, data, passos, frequência cardíaca e notificações de mensagens. A tela é nítida e de fácil leitura, mesmo sob luz solar direta.
- d) Conectividade Bluetooth: a T-Wristband LilyGO é equipada com conectividade Bluetooth, permitindo que seja conectada a smartphones e outros dispositivos compatíveis. Isso possibilita a sincronização dos dados coletados com aplicativos de saúde e condicionamento físico, bem como a visualização de gráficos e análises mais detalhadas. Além disso, é possível receber notificações de chamadas, mensagens e outras notificações do smartphone diretamente na pulseira.
- e) Aplicativo complementar: para aproveitar ao máximo a pulseira LilyGo, é recomendado utilizar o aplicativo complementar fornecido pela LilyGO ou outros aplicativos de terceiros compatíveis. Esses aplicativos permitem visualizar e analisar os dados coletados, estabelecer metas de condicionamento físico, acompanhar o progresso ao longo do tempo e configurar alarmes e lembretes personalizados.
- f) Bateria e carregamento: a T-Wristband LilyGO possui uma bateria embutida que pode ser recarregada por meio de um cabo USB. A duração da bateria varia de acordo com o uso, mas geralmente é suficiente para vários dias de uso contínuo.

É importante destacar que a T-Wristband LilyGO não é um dispositivo médico certificado, mas sim um dispositivo de uso geral para rastreamento de atividades físicas e monitoramento de saúde. Os dados fornecidos pela pulseira são indicativos e podem não ser tão precisos quanto os obtidos por equipamentos médicos profissionais (T-WRISTBAND, 2022).

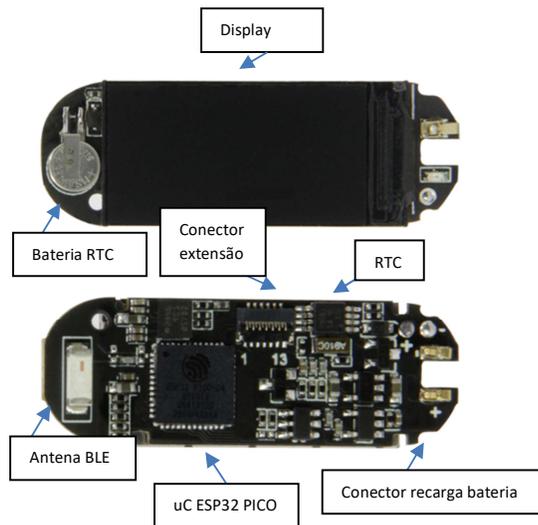
A gravação e programação da pulseira é feita através de um cabo flat que é conectado na pulseira e uma placa de apoio que é conversor serial para USB, para ser conectado ao computador, assim o dispositivo será reconhecido pela serial da IDE do Arduino (Figura 11).

Figura 11 - Arquitetura gravação pulseira



Fonte: (LILYGO, 2023).

Figura 12 - Pulseira LilyGO



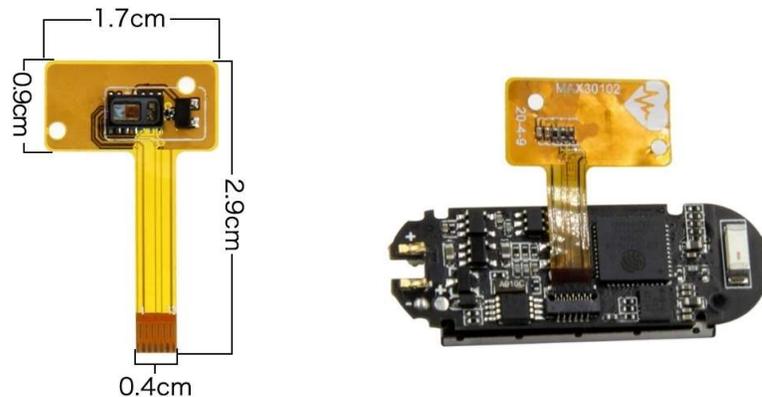
Fonte: Autoria própria

3.1.6 Descrição do funcionamento do Sensor de Monitoramento Cardíaco

O sensor de frequência cardíaca é um módulo que dispõe do chip Max30102 do fabricante Maxim Integrated, responsável por medir batimento cardíacos. Nele, há um LED vermelho e um LED infravermelho, dois fotodetectores e circuito eletrônico de baixo

ruído com supressão de luz ambiente. Possui alimentação de 3,3 e 1,8 volts e comunicação I2C. O módulo mostrado na figura 13 foi desenvolvido pela LilyGO, é um adicional que precisa ser conectado a pulseira. O hardware de ambos já foi desenvolvido para este fim, o sensor vem montado em uma placa flexível para facilitar o encaixe.

Figura 13 - Módulo de expansão MAX30102 LilyGo



Fonte: (LILYGO, 2022).

Tal módulo é importante pois ele permite a medida a análise dos batimentos cardíacos durante corridas de kart e, por isso, pode fornecer informações sobre o desempenho físico e a condição cardiovascular do piloto.

Durante a utilização e programação do sensor de monitoramento de batimentos cardíacos, houve algumas dificuldades, por ser um dispositivo muito pequeno, e pela necessidade de encaixar o gravador no mesmo conector sempre quando alterasse o código de programação, o sensor era danificado com muita facilidade. Outro problema encontrado foi a dificuldade de coletar um dado válido, pois o mesmo funcionava melhor somente quando o sensor era posicionado na ponta do dedo da mão, e não no pulso como ocorreria durante as corridas.

Uma solução para esse problema foi adaptar um módulo comercial MAX30102 com o mesmo sensor, apresentados nas figuras 14, 15 e 16, soldando alguns fios diretamente no conector, o que facilitou também fazer a programação do dispositivo simultaneamente,

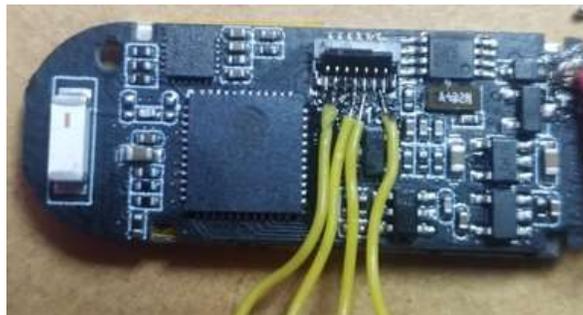
pois o conector ficaria livre. Com essa alteração foi obtido valores mais estáveis fazendo a medição dos batimentos cardíacos diretamente no pulso.

Figura 14 - Módulo BPM adaptado



Fonte: Autoria própria

Figura 15 - Adaptação no conector da pulseira



Fonte: Autoria própria

Figura 16 - Pulseira com o módulo de BPM

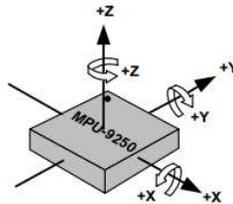


Fonte: Autoria própria

3.1.7 Descrição do funcionamento do módulo MPU-9250

A pulseira possui um multi-chip module (MCM) MPU-9250 soldado em sua placa, o qual compõe-se de 3 eixos para o giroscópio, 3 eixos para o acelerômetro e 3 eixos para o magnetômetro, sensores para detecção de movimento, orientação dos eixos e polaridade de rotação do sensor, (IVENSENSE, 2016) conforme ilustrado na Figura 17.

Figura 17- Orientação dos eixos do sensor MPU-9250



Fonte: (IVENSENSE, 2016).

O funcionamento do módulo MPU-9250 pode ser sintetizado como se segue.

- a) Acelerômetro: mede a aceleração linear nas direções x, y e z. Ele detecta mudanças na velocidade do dispositivo e permite determinar a orientação espacial, a direção do movimento e o grau de inclinação. Os valores de aceleração são medidos em unidades de metros por segundo ao quadrado (m/s^2).
- b) Giroscópio: mede a taxa de rotação angular em torno dos eixos x, y e z. Ele fornece informações sobre a velocidade angular e permite rastrear os movimentos de rotação do dispositivo.
- c) Magnetômetro: mede a intensidade do campo magnético terrestre nas direções x, y e z. Ele permite a detecção e a medição da direção do campo magnético, o que é útil para determinar a orientação absoluta do dispositivo.
- d) Comunicação e configuração: o MPU-9250 se comunica com outros dispositivos, como microcontroladores ou processadores, por meio de interfaces

de comunicação, como I2C (Inter-Integrated Circuit) ou SPI (Serial Peripheral Interface). Essas interfaces permitem que o dispositivo seja configurado e que os dados dos sensores sejam transmitidos para o dispositivo host.

- e) Calibração: antes de usar o MPU-9250, foi realizado um processo de calibração dos sensores para garantir uma maior precisão nos dados de movimento e orientação. Isso envolve a configuração de parâmetros, como offsets e ganhos, para compensar erros sistemáticos e eliminar interferências externas.
- f) Processamento de dados: os dados brutos dos sensores fornecidos pelo MPU-9250 podem ser processados e filtrados para obter informações mais úteis, como ângulos de Euler (roll, pitch, yaw), que representam a orientação espacial do dispositivo , (IVENSENSE, 2016).

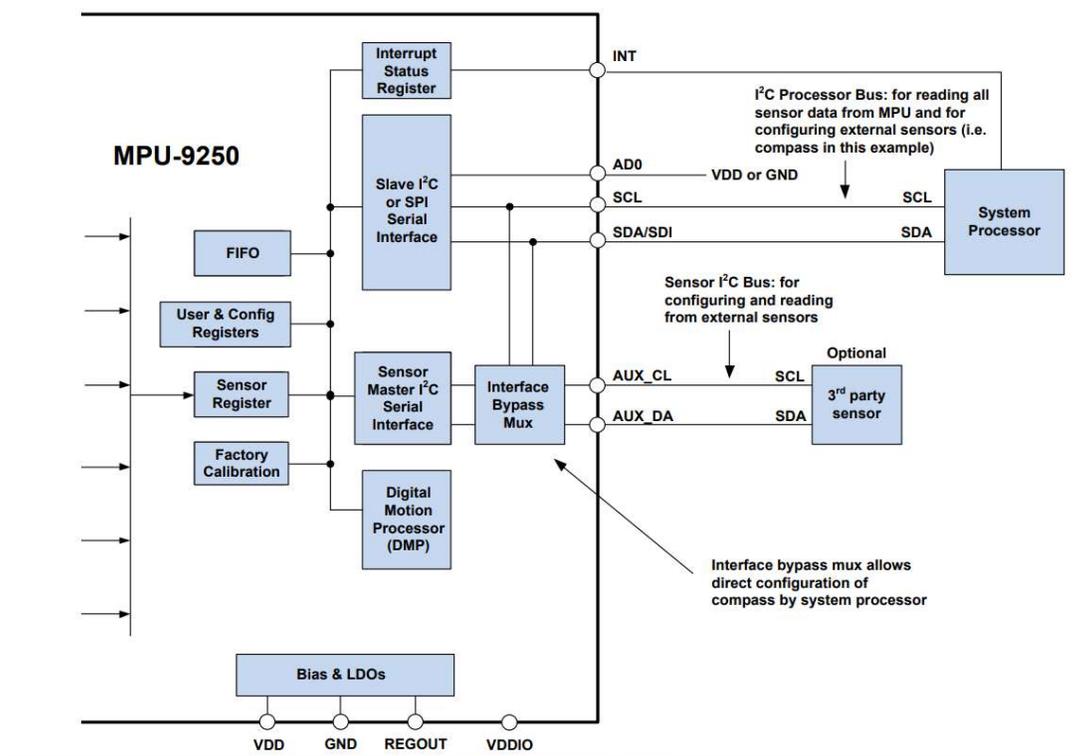
3.1.7.1 Descrição do funcionamento do protocolo I2C

Neste trabalho, a comunicação entre o microcontrolador ESP32 (PULSEIRA) e o módulo MPU-9250 foi realizada a partir do protocolo de comunicação I2C, conforme imagem retirada do datasheet do sensor (

Figura 18). Este tem recursos limitados e depende do processador para gerenciar a configuração inicial. O sensor possui um multiplexador que conecta o barramento I2C do processador do sistema diretamente ao sensor auxiliar.

O sensor é um “escravo” e o processador do sistema é um “mestre” I2C (ESP32-PICO-D4). Este tem recursos limitados e depende do processador para gerenciar a configuração inicial. O sensor possui um multiplexador que conecta o barramento I2C do processador do sistema diretamente ao sensor auxiliar.

Figura 18 - Funcionamento do módulo MPU-9250

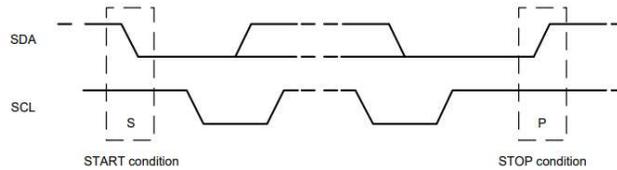


Fonte: (IVENSENSE, 2016).

A comunicação no barramento I2C é iniciada quando o “mestre” coloca a condição "START" no barramento. Essa condição é definida como uma transição de HIGH para LOW na linha SDA, enquanto a linha SCL está em HIGH. O barramento é considerado "ocupado" até que o componente mestre coloque uma condição de "STOP" no barramento. Essa condição é definida como uma transição de LOW para HIGH na linha SDA, enquanto a linha SCL está em HIGH. O barramento permanece ocupado se um

START repetido for gerado em vez de uma condição de STOP. Um exemplo dessas condições está ilustrado na Figura 18.

Figura 19 - Start e Stop do barramento I2C



Fonte: (IVENSENSE, 2016).

3.1.8 Arquitetura do Firmware

Foi utilizada a plataforma de desenvolvimento do Arduino como ambiente de programação Integrated Development Environment (IDE), por ser um ambiente amigável de fácil aplicação (Figura 20).

Figura 20 - IDE Arduino

```
ESP32_SimpleTime | Arduino 1.8.2
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
ESP32_SimpleTime
const char* ntpServer = "pool.ntp.org";
const long  gmtoffset_sec = 3600;
const int   daylightOffset_sec = 3600;

void printLocalTime()
{
  struct tm timeinfo;
  if(!getLocalTime(&timeinfo)){
    Serial.println("Failed to obtain time");
    return;
  }
  Serial.println(&timeinfo, "%A, %B %d %Y %H:%M:%S");
}

void setup()
{
  Serial.begin(115200);

  //connect to WiFi
  Serial.print("Connecting to ");
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println(" CONNECTED");
}
```

Fonte: Autoria Própria.

A integração do sistema, incluindo a leitura dos sensores, coleta de dados, processamento e armazenamento, foi baseada no desenvolvimento do código de programação em C++. Utilizou-se a IDE do Arduino, juntamente com todas as bibliotecas necessárias, incluindo a biblioteca do microcontrolador, do protocolo de comunicação e dos sensores.

Assim, foram criados dois códigos, um para o dispositivo Heltec ESP32 utilizado no display do kart (Apêndice E) e outro código para a pulseira do piloto ESP32 PICO (Apêndice D). Os dois códigos constituem a lógica de funcionamento do sistema, cuja arquitetura está ilustrada na Figura 21.

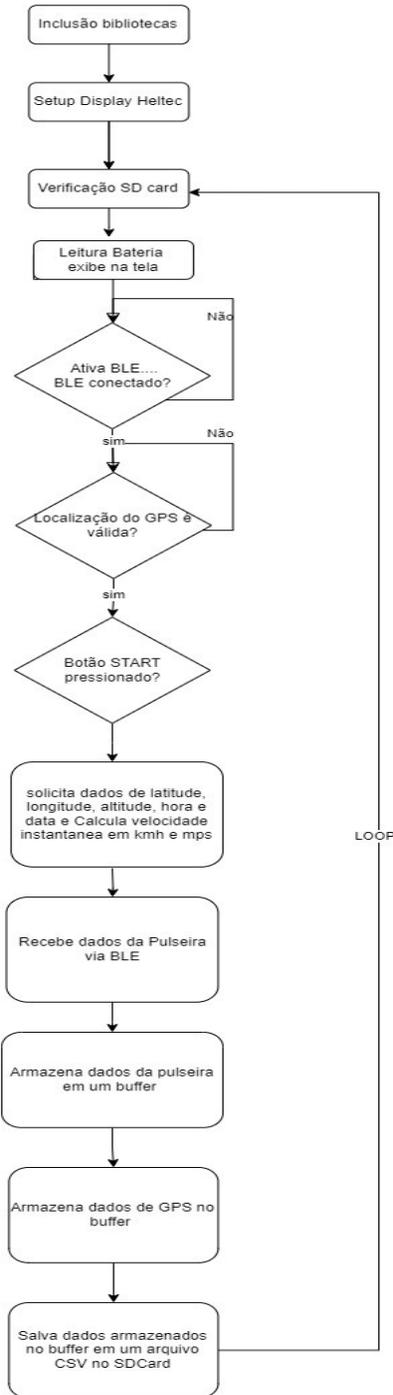
O primeiro código, gravado no dispositivo para o kart, funciona como um concentrador dos dados coletado. Nele é feita a coleta e armazenamento dos dados do GPS, como latitude, longitude, data, hora, e calculado a velocidade instantânea e leitura da bateria pelo conversor analógico digital. Monitoramento do botão start e reset. É realizado o armazenamento dos dados no cartão SD, geração do arquivo CSV, e configuração do BLE para o recebimento dos dados enviados pela pulseira.

O segundo código descreve o funcionamento da pulseira, realizando a configuração dos sensores e coleta de dados. Para o módulo MPU9250, é coletado dados do acelerômetro e do giroscópio. O módulo MAX30102 fornece os dados de temperatura e frequência cardíaca. O código faz a leitura da tensão da bateria da pulseira, realiza a conexão bluetooth com o outro dispositivo no kart e envia os dados coletados.

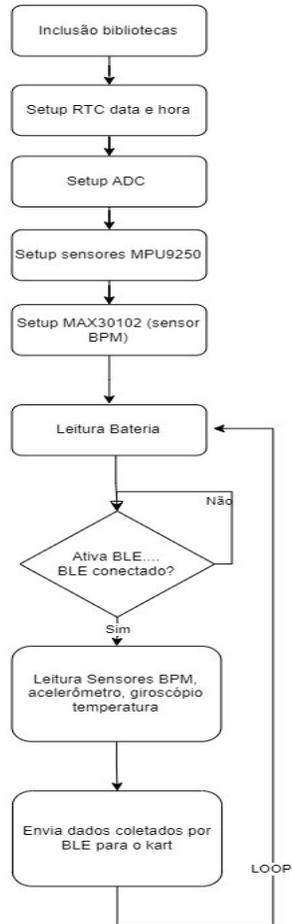
Ambos os códigos seguem um padrão sequencial para a execução das funções, a coleta dos dados é síncrona, porém o armazenamento dos dados é sequencial. O dispositivo recebe os dados coletados na pulseira, e armazena com os dados coletados do GPS.

Figura 21 - Fluxograma dos códigos

Código Display Kart



Código Pulseira



Fonte: Autoria Própria.

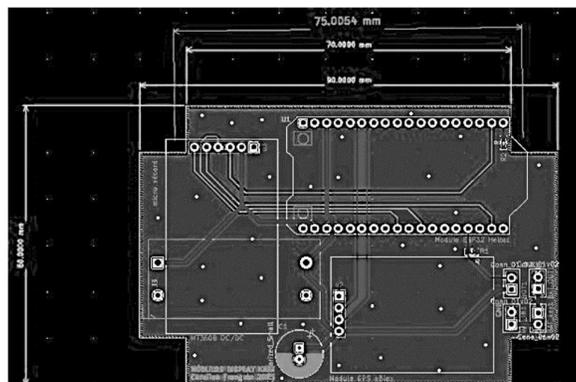
3.1.1.9 Desenvolvimento e montagem do protótipo

Com base na documentação fornecida pelo fabricante da placa de desenvolvimento, foi possível criar placas de circuito impresso (PCIs) próprias e robustas para validar o sistema. Com experiência prévia em desenvolvimento de hardware e fabricação, foi possível desenvolver placas proprietárias de baixo custo de forma ágil.

A placa de circuito impresso foi desenvolvida utilizando a ferramenta KiCad (KICAD, 2023). Primeiramente, foi realizado o desenvolvimento do esquemático (Apêndice F) e do layout conforme figuras a seguir (Figura 22, Figura 23 e Figura 24).

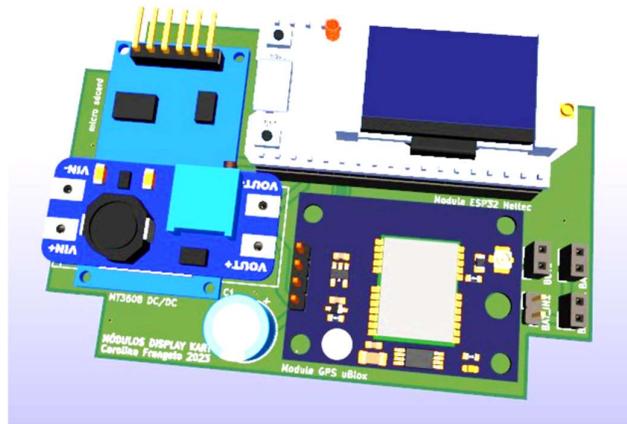
O KiCad é um software de design de placas de circuito impresso (PCIs) de código aberto amplamente utilizado por engenheiros eletrônicos e projetistas de hardware. Com uma interface intuitiva, o KiCad oferece uma suíte completa de ferramentas para criar esquemáticos eletrônicos, desenvolver layouts de PCIs, verificar regras de design e simular circuitos. Além disso, como um projeto de código aberto, o KiCad permite que os usuários modifiquem e adaptem o software de acordo com suas necessidades, promovendo a colaboração e o desenvolvimento contínuo por meio da contribuição da comunidade de usuários. Em resumo, o KiCad é uma solução de software poderosa e versátil para o projeto de PCIs, oferecendo recursos avançados para a criação de projetos eletrônicos profissionais e eficientes.

Figura 22 – Layout da PCI



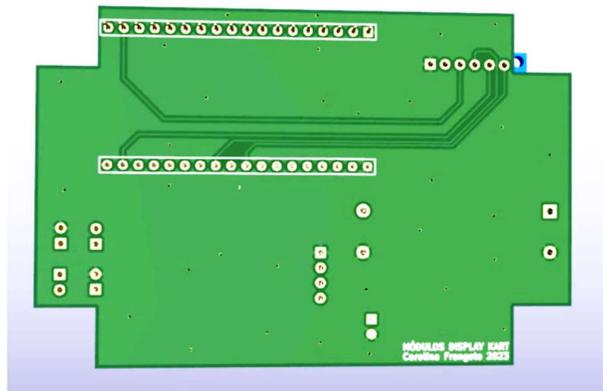
Fonte: Autoria Própria.

Figura 23 - Imagem 3D PCI



Fonte: Autoria Própria.

Figura 24 - Imagem 3D BOT



Fonte: Autoria Própria.

Em seguida, com a geração e envio do gerber, foi realizado o pedido de fabricação em uma fábrica na China chamada JLCPCB. A seguir, tem-se a especificação detalhada da PCI para fabricação (Tabela 1).

Tabela 1 - Detalhamento para fabricação da PCI

Product Detail	
Gerber file	gerber_Y1
Build Time	2 days
Base Material	FR-4
Layers	2
Dimension	90 mm* 60 mm
PCB Qty	5
Product Type	Industrial/Consumer electronics
Different Design	1
Delivery Format	Single PCB
PCB Thickness	1.6
Impedance Control	No
PCB Color	Green
Silkscreen	White
Via Covering	Tented
Surface Finish	HASL(with lead)
Deburring/Edge rounding	No
Outer Copper Weight	1 oz
Gold Fingers	No
Flying Probe Test	Fully Test
Castellated Holes	No
Remove Order Number	No
4-Wire Kelvin Test	No
Paper between PCBs	No
Appearance Quality	IPC Class 2 Standard
Confirm Production file	No
Silkscreen Technology	Ink-jet/Screen Printing Silkscreen
Package Box	With JLCPCB logo

Fonte: (JLCPCB, 2023).

Após a fabricação da PCI e compra dos módulos e componentes necessários foi realizada a soldagem e montagem do protótipo. A placa foi fixada em uma caixa impermeável e foram incluídos botões de reset e start também impermeáveis (Figura 25).

Figura 25 - Display para o Kart montado



Fonte: Aatoria Própria.

Para a alimentação do dispositivo e autonomia durante as corridas de kart, foi utilizada uma bateria de íon Lítio recarregável de 3,7V e 2400mAh, um pack composto por 2 células 18650 (Figura 26). A tal se mostrou necessária para que o sistema funcionasse por horas, durante os campeonatos de endurance que pode chegar a 24 horas.

Figura 26 - PCI montada com os módulos



Fonte: Aatoria Própria.

A duração de uma bateria de íon de Lítio (Li-ion) de 3,7V pode variar dependendo de vários fatores, como capacidade da bateria, consumo de energia do dispositivo e eficiência do sistema em que a bateria está sendo usada. A capacidade de uma bateria de Li-ion é geralmente medida em miliampere-hora (mAh) e indica a quantidade de carga que a bateria pode fornecer ao longo do tempo.

No entanto, é importante observar que a duração real da bateria pode ser menor devido a perdas de energia, ineficiências do sistema e outros fatores. Além disso, o consumo de energia pode variar ao longo do tempo, dependendo do uso do dispositivo. Em resumo, a duração de uma bateria de Li-ion de 3,7V depende da capacidade da bateria e do consumo de energia do dispositivo. É necessário considerar esses fatores para obter uma estimativa mais precisa da duração da bateria em um determinado cenário de uso.

Foi realizada uma análise do consumo de corrente do dispositivo desenvolvido para a aplicação proposta nesse trabalho e é estimada uma previsão de duração de 16 horas com o consumo de 150 mA. A Tabela a seguir apresenta os valores de corrente durante o funcionamento do dispositivo em três modos diferentes, foi utilizado um multímetro para medição do consumo instantâneo do dispositivo.

Tabela 2- Consumo dispositivo kart

Modo de funcionamento	Consumo de corrente (mA)
Boot (Inicialização)	200
Stop (Coletando dados)	180
Start (Armazenando dados)	150

Fonte: Autoria Própria.

3.11.10 Lista de Componentes e Custo do protótipo

Os custos envolvidos no desenvolvimento do protótipo estão sintetizados na tabela a seguir (Tabela 3).

Tabela 3 – Custos do protótipo

Quantidade	Descrição	Valor (R\$)
1	Placa Lora Esp32 Display Oled Wi-fi Bluetooth 915Mhz	120,00
1	Módulo Leitor Cartão Micro SD	25,00
1	Cartão de memória SD 32 GB	12,50
1	Módulo Sensor BPM MAX30102	32,00
1	Módulo extensor MX30102 LilyGo	21,00
1	Módulo GPS NEO-6M	47,00
1	Converter Boost DC Step Up Ajustável	19,00
2	Chave / Push Button Pulsante 12mm impermeável	37,00
1	Caixa De Junção Impermeável IP66 132,2 mm x 68,7 mm x 50,1 mm	69,00
1	Bateria 18650 3,7v 2400mah	30,00
1	LILYGO®Ttgo t-pulseira diy programável	139,00
5	Fabricação da PCI	368,00
1	Capacitor 10uF PTH	1,00
1	Barra de soquete header fêmea 2,54mm	2,00
	TOTAL	922,50

Fonte: Autoria Própria.

3.2 Testes em campo

Os testes foram realizados em kartódromos durante treinos e campeonatos, de forma a validar o sistema com a maior variedade de circuitos e regiões possíveis. O participante dos testes utilizou os equipamentos disponibilizados para o funcionamento do sistema de telemetria e monitoramento durante as corridas. Nos testes foram validados a relação entre os dados coletados, duração da bateria, confiabilidade do sistema, qualidades dos dados coletados, robustez, e usabilidade relatada pelo participante.

O critério de inclusão e exclusão dos participantes foi baseado na disponibilidade dos pilotos para as datas escolhidas para os testes. Todos os participantes aceitaram participar da pesquisa, são maiores de idade, e concordaram em relatar sua experiência com o teste. Os critérios para suspender ou encerrar a pesquisa foi de que qualquer participante da pesquisa poderia suspender ou encerrar sua participação quando assim achasse conveniente.

Foram realizados alguns testes durante campeonato de karts em vários locais diferentes. Para tal, se fez necessária a aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da PUC Campinas (Apêndice G), que autorizou a utilização do protótipo para teste em campo, sendo usado por voluntários, mediante assinatura de um termo de responsabilidade.

3.2.1 Coleta de dados durante corridas de kart

Os testes em campo foram realizados durante um campeonato de kart chamado Copa Brasil de kart indoor 2023 que ocorreu no Kartódromo de Volta Redonda no Rio de Janeiro. Os karts indoors de aluguel que foram disponibilizados pelo Kartódromo durante as corridas, são do modelo Honda GX390 de 15 HP com chassi do fabricante Metal Moro. Outros testes foram realizados durante treinos no Kartódromo Internacional de Nova Odessa (KNO) em São Paulo com kart próprio (Tabela 4).

Tabela 4 - Descrição dos testes

Evento 1	Copa Brasil de kart indoor 2023
Local	Kartódromo de Volta Redonda no Rio de Janeiro
Modelo do kart	Honda GX390 15HP Chassi metal moro.
Evento 2	Treino livre
Local	Kartódromo Internacional de Nova Odessa em São Paulo
Modelo do kart	Mini M2 2022

Fonte: Autoria Própria.

Durante os testes, o piloto utilizou a pulseira (Figura 25) para monitoramento físico e acoplou o dispositivo com display ao volante do kart (Figura 26). Antes de cada corrida os karts são sorteados, e é necessário acoplar o display em um kart diferente. Cada etapa deste campeonato durou cerca 15 voltas, o que equivale a, aproximadamente, 14 minutos dependendo do circuito, da pista e das condições climáticas. Nos treinos, os testes foram realizados utilizando kart próprio, descrito anteriormente.

Entre cada corrida, foi necessário carregar a bateria da pulseira, pois ela possui uma carga limitada devido a duração da bateria reduzida em consequência da alta frequência de leitura e envio de dados, o que pode ser aprimorado futuramente via código. Já o display permaneceu ligado durante todo o teste.

Após o final de cada corrida, foi realizada uma análise dos dados coletados armazenados em um arquivo com extensão CSV. Foi realizada, também, uma análise da gravação da corrida feita por uma câmera GoPRO acoplada ao capacete do piloto, sendo essencial para analisar a possível causa de variações de velocidade e frequência cardíaca.

Figura 25 - Display acoplado ao kart



Fonte: Autoria Própria.

Figura 26 - Preparação antes da corrida



Fonte: Autoria Própria.

3.2.2 Monitoramento da frequência cardíaca utilizando um simulador de corrida

Foi realizado o monitoramento físico do piloto a partir dos dados coletados da pulseira durante um treino de corrida no jogo de computador iRacing, um simulador de corridas online (IRACING, 2023). Para este teste, foi necessário utilizar um setup de simulação composto por cockpit, desktop, monitor, volante e pedais do fabricante Logitec G923 (Figura 27). Os dados coletados irão ajudar na análise e comparação dos dados coletados em corridas reais.

Figura 27 - Setup de simulação de corridas online



Fonte: Autoria Própria.

3.2.3 Coleta de dados de frequência cardíaca em repouso

Para coleta de dados dos batimentos cardíacos em repouso, foi aplicada a mesma metodologia anterior, utilizando a pulseira para monitoramento físico do piloto, sendo avaliado neste momento a frequência cardíaca em repouso, com a finalidade de comparação dos dados coletados durante as corridas reais e virtuais.

3.2.4 Materiais utilizados nos testes.

Durante os testes foram utilizados os seguintes materiais:

- Protótipo Display para Kart;
- Pulseira de monitoramento físico;
- Notebook;
- Adaptador para cartão Micro SD;
- Câmera GoPRO;
- Setup simulador.

4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados do desenvolvimento do sistema de telemetria proposto.

4.1 Protótipo desenvolvido

Como resultado foi obtido um protótipo de hardware, composto por uma placa para conexão e integração dos módulos, módulo GPS, módulo microcontrolador ESP32, módulo com conector de cartão SD, e módulo conversor de tensão (Figura 30).

Figura 28 - Protótipo desenvolvido



Fonte: Autoria Própria.

O protótipo se mostrou robusto devido a sua capacidade de funcionamento em variadas condições, como alta vibração, altas temperaturas, e chuva. O case e botões é classificado como IP66, ou seja, completamente à prova de poeira, e protegido contra jatos de água potentes.

Referente a pulseira foi obtido um código de programação compondo o sistema de telemetria com coleta dos dados, integração do sensor de batimentos cardíacos, e envio

dos dados coletados por BLE. Conforme as figuras 29, 30 e 31, é possível observar as telas programadas na pulseira, com informações de data, hora, tensão da bateria, dados em tempo real do acelerômetro, giroscópio, magnetômetro, e dados do monitoramento cardíaco.

Figura 29 - Tela data e hora da pulseira



Fonte: Autoria Própria.

Figura 30 - Tela do acelerômetro da pulseira



Fonte: Autoria Própria.

Figura 31 - Tela do sensor de BPM da pulseira



Fonte: Autoria Própria.

4.2 Dados coletados e resultados obtidos

Foram coletados dados de velocidade, aceleração e monitoramento do batimento cardíaco durante corridas e outros eventos relevantes, como em repouso e durante uma simulação de corrida virtual. Os resultados obtidos nos testes foram analisados e correlacionados. Na tabela 5 foi obtido a comparação dos dados coletados de frequência cardíaca (BPM) do mesmo voluntário em diferentes testes, durante os treinos, na simulação de corrida virtual e em repouso.

Tabela 5 - Comparação BPM em diferentes testes

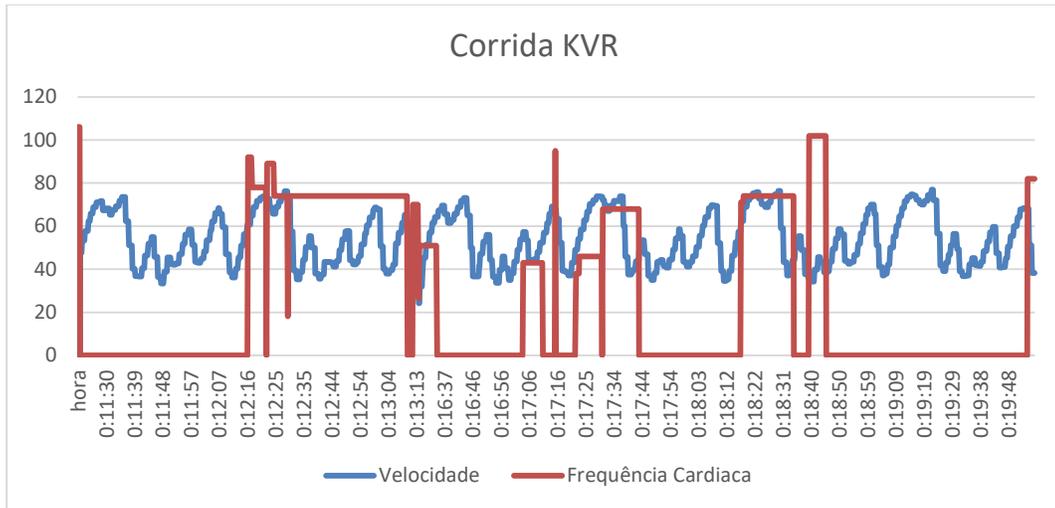
Evento	Desvio Padrão BPM	Mediana BPM	Média BPM	Amostras (Qtd)
Treino 1	17,98	58	58,61	2858
Treino 2	20,95	68	65,61	332
Simulação	18,32	53	56,09	5922
Repouso	10,62	78	74,47	2623

Fonte: Autoria Própria.

4.2.1 Resultados obtidos para o evento 1 – Copa Brasil de Kart Indoor 2023

Os resultados coletados durante o campeonato Copa Brasil de Kart Indoor em Volta Redonda, apresentou muitas falhas, como frequência cardíaca zerada ou valor travado, impossibilitando uma análise mais completa dos dados. Isso ocorreu por problemas no cabo flat do sensor de frequência cardíaca, portanto as outras medidas não foram afetadas. Como por exemplo a medida da velocidade apresentada na Figura 32 na linha azul em quilômetros por hora.

Figura 32- Resultados Copa KVR

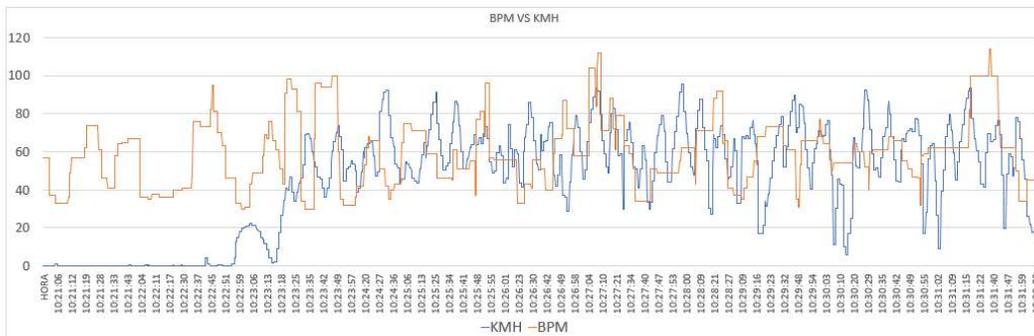


Fonte: Autoria Própria.

4.2.2 Resultados obtidos para o evento 2 – Treino livre

A Figura 33 apresenta os dados coletados durante treino 1 no KNO (Evento 2), na linha vermelha temos os dados da frequência cardíaca em BPM, batimentos por minuto, e na linha azul temos a velocidade em quilômetros por hora, ambos visualizados numa escala no eixo Y, enquanto o eixo X apresenta o momento exato de cada dado coletado em hora, minuto, segundos.

Figura 33 – Comportamento da frequência cardíaca e da velocidade no treino 1



Fonte: Autoria Própria.

Conforme mostrado na tabela 6, a partir das amostras coletadas foi calculado o desvio padrão, mediana e a média. Durante o treino 1 o piloto teve um desvio padrão de 17,98 de frequência cardíaca.

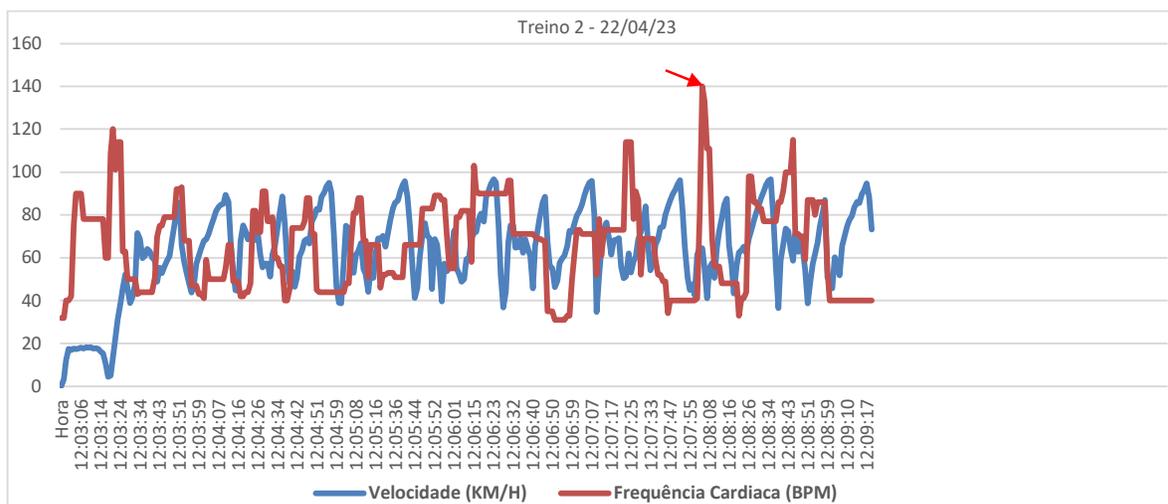
Tabela 6 - Médias BPM treino 1

Desvio padrão	Mediana	Média	Amostras
17,98	58	58,61	2858

Fonte: Autoria Própria.

A figura 34 apresenta os dados coletados durante treino 2 no KNO (Evento 2), na linha vermelha temos os dados da frequência cardíaca em BPM, batimentos por minuto, e na linha azul temos a velocidade em quilômetros por hora, ambos visualizados numa escala no eixo Y, enquanto o eixo X apresenta o momento exato de cada dado coletado em hora, minuto, segundos. A corrida se manteve estável, sem muita variação, mostrando um ótimo controle de respiração e concentração do piloto durante todo o circuito, resultando apenas em uma frequência cardíaca máxima de 140 BPM, conforme indicado abaixo. No eixo horizontal temos a hora de cada amostra coletada, por ter muitas amostras, não é possível marcar todas na descrição, porém essas amostras foram consideradas na geração do gráfico, e apresentam uma taxa de amostragem em torno de 125 milissegundos.

Figura 34 - Comportamento da frequência cardíaca e da velocidade no treino 2



Fonte: Autoria Própria

Conforme mostrado na tabela 7, a partir das amostras coletadas foi calculado o desvio padrão, mediana e a média. Durante o treino 2 o piloto teve um desvio padrão de 20,95 de frequência cardíaca.

Tabela 7 - Médias BPM KNO treino 2

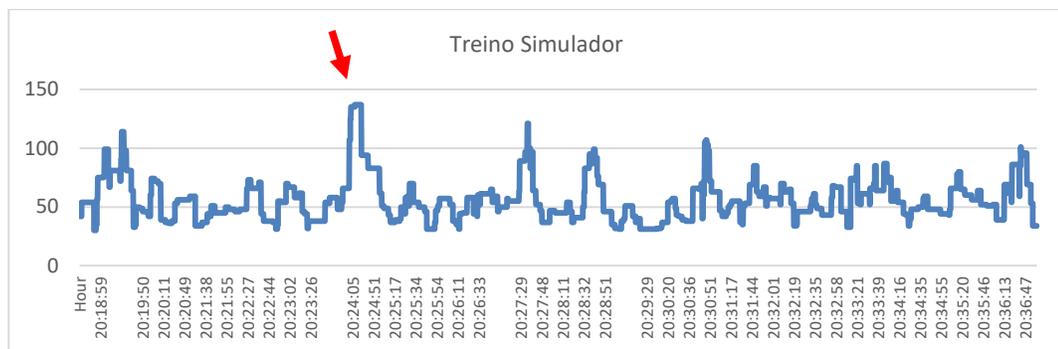
Desvio padrão	Mediana	Média	Amostras
20,95	68	65,61	332

Fonte: Autoria Própria

4.2.3 Resultados obtidos para o Monitoramento da frequência cardíaca utilizando um simulador de corrida

Foram realizadas algumas simulações, utilizando o simulador iRacing, monitorando a frequência cardíaca (Figura 35), conforme descrito no Capítulo 3. E analisando os resultados foi possível notar que durante a simulação de uma corrida em um jogo de computador se obteve a mesma emoção e adrenalina que em uma corrida real, pois as medidas de BPM tiveram bastante variação e chegaram em 137 batidas por minuto, apontado pela seta vermelha. No eixo x temos o tempo transcorrido e no eixo Y, o valor medido de batimentos por minuto.

Figura 35 – BPM treino simulador



Fonte: Autoria própria

Conforme mostrado na tabela 8, a partir das amostras coletadas foi calculado o desvio padrão, mediana e a média. Durante a simulação de uma corrida o mesmo piloto teve um desvio padrão de 18,32 de frequência cardíaca. Demonstrando que os batimentos cardíacos da simulação são muito próximos de uma corrida real, que teve desvio padrão entre 19 e 20.

Tabela 8 - Médias BPM Simulador

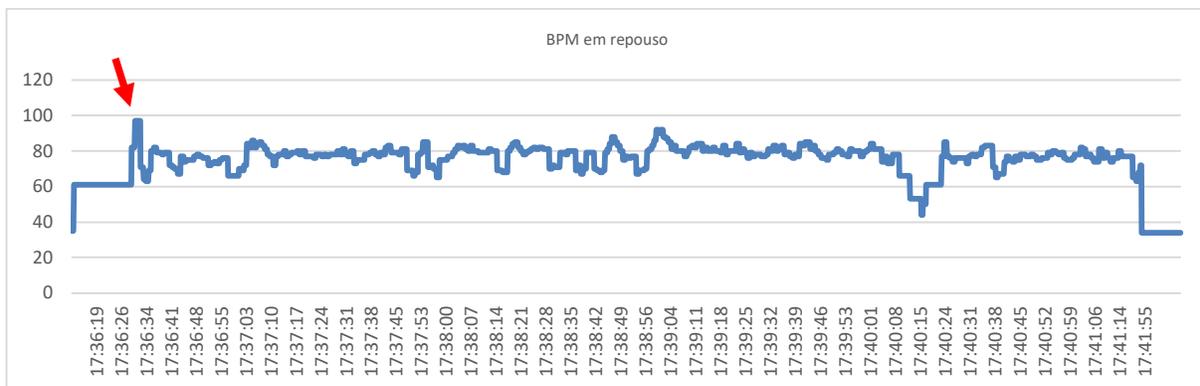
Desvio Padrão	Mediana	Média	Amostras
18,32	53,00	56,09	5922

Fonte: Autoria Própria

4.2.4 Resultados obtidos para a coleta de dados de frequência cardíaca em repouso

Para validar as variações de frequência cardíaca durante os testes de campo, foi analisada e monitorada a frequência cardíaca em repouso para servir como referência para os demais testes realizados. A figura 36 ilustra o comportamento dessa grandeza com o piloto em repouso. No eixo x temos o tempo transcorrido e no eixo Y, o valor medido de batimentos por minuto. Foi observado maior estabilidade e pouca variação nos valores medidos de frequência cardíaca, com o maior valor em 97 BPM, apontado pela seta vermelha.

Figura 36 – Frequência cardíaca com o piloto em repouso



Fonte: Autoria Própria

Conforme mostrado na tabela 9, a partir das amostras coletadas foi calculado o desvio padrão, mediana e a média. Durante uma situação de repouso, como resultado se obteve um desvio padrão de 10,62 de frequência cardíaca. Demonstrando uma maior estabilidade nos valores de BPM, sem muitas variações.

Tabela 9 - Médias BPM em repouso

Desvio padrão	Mediana	Média	Amostras
10,62	78	74,47	2623

Fonte: Autoria Própria

4.2.5 Análises

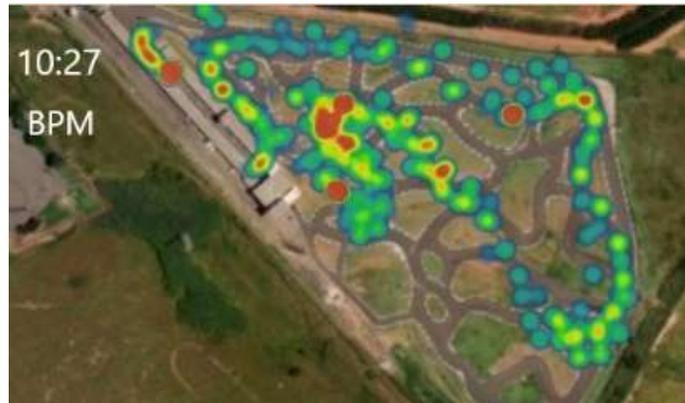
Analisando os resultados das corridas e treinos foi possível notar uma correlação do aumento de velocidade com o aumento da frequência cardíaca nos mesmos pontos do circuito, mostrado nos pontos vermelhos da imagem (Figura 37 e Figura 38), que é a somatório de cada volta, onde o Excel realiza a soma dos valores coletados em cada volta, a soma da velocidade ou do batimento cardíaco, mostrando em qual ponto teve valores maiores ou menores (INTRODUÇÃO,2023). Foi observado que os pontos críticos em uma corrida durante um treino no KNO, foram as curvas mais acentuadas, onde houve um aumento da velocidade depois das curvas e um aumento da frequência cardíaca durante as curvas.

Figura 37 - Velocidade coletada no treino 1 realizado no KNO – Evento 2



Fonte: 3D Maps Excel.

Figura 38 - Frequência cardíaca coletada no treino 1 realizado no KNO – Evento 2



Fonte: 3D Maps Excel.

A seguir, é analisado outro circuito na mesma pista do KNO, chamado anteriormente de treino 2. É notado que os pontos da pista em vermelho se apresentaram mais críticos devido ao nível de dificuldade deste circuito em específico, onde se obteve um maior valor acumulado em cada volta resultando em um somatório maior nesses pontos (Figura 39).

Figura 39 - Frequência cardíaca coletada no treino 2 realizado no KNO – Evento 2



Fonte: 3D Maps Excel.

Na Figura 40, é possível visualizar mais claramente os pontos onde o piloto atingiu sua velocidade máxima, em vermelho, e pontos de parada em azul. Os pontos vermelhos de maior velocidade se caracterizam por retas no circuito que antecedem uma curva, e o ponto azul que representa menor velocidade está localizado nas entradas dos boxes, onde é preciso reduzir drasticamente a velocidade.

Figura 40 - Média da velocidade



Fonte: 3D Maps Excel.

Em outro teste, no campeonato em KVR (Kartódromo de Volta Redonda), foi observado uma correlação entre o aumento da frequência cardíaca e o aumento de velocidade, conforme apresentado na figura a seguir (Figura 41).

Figura 41 - Velocidade coletada no campeonato KVR – Evento 1



Fonte: 3D Maps Excel.

Na Figura 42 é mostrado o arquivo em Excel gerado pelo protótipo durante a coleta de dados, onde são coletadas data, hora, latitude, longitude, altitude, velocidade em quilômetros por hora (KMH) e em metros por segundo (MPS), temperatura, frequência

cardíaca (BPM), medida do sensor de proximidade por infravermelho (IR), 3 eixos do giroscópio (Gx, Gy e Gz), 3 eixos do acelerômetro (Ax, Ay e Az).

Além disso, é importante destacar que foram observadas, nos dados coletados, latência e perda de pacotes na comunicação BLE, mesmo o sistema sendo configurado com taxa de amostragem de uma frequência de 10 Hz, o que equivale ao envio a cada 100 milissegundos, foi observado neste trabalho um envio entre 125 e 166 milissegundos. No quadrado marcado em vermelho e em azul na Figura 42, é possível observar que houve entre 5 e 7 amostras por minuto, isso se repete durante todo o teste.

Outra falha encontrada, é uma perda de pacotes nos dados coletados pelo acelerômetro, o mesmo ocorre com o sensor de frequência cardíaca, porém o software foi desenvolvido para armazenar todos os dados somente quando recebesse dados válidos de frequência cardíaca, uma redundância realizada para evitar coletas.

Figura 42 - Amostras coletadas durante os testes

Data	Hora	LAT	LONG	ALT	KMH	MPS	TEMP	BPM	IR	Gx	Gy	Gz	Ax	Ay	Az
5/20/2023	10:21:01	-22.7783127	-47.2301517	629.2	0.37	0.1	35.79	57	62233	102.37	-22.03	-555.28	-246.22	-881	
5/20/2023	10:21:01	-22.7783127	-47.2301517	629.2	0.37	0.1	35.78	57	62267	100.47	-18.23	-422.83	-239.56	-864	
5/20/2023	10:21:01	-22.7783127	-47.2301517	629.2	0.37	0.1	35.79	57	62283	98.94	-16.62	-20.91	-436.58	-399.9	-901
5/20/2023	10:21:01	-22.7783127	-47.2301517	629.2	0.37	0.1	35.8	57	62261	96.34	-26.3	-13.63	-388.12	-366.15	-875
5/20/2023	10:21:01	-22.7783127	-47.2301517	629.2	0.37	0.1	35.81	57	62288	99.18	-30.65	-14.64	-370.48	-309.94	-850
5/20/2023	10:21:01	-22.7783127	-47.2301517	629.2	0.37	0.1	35.8	57	62287	102.39	-21.5	-447.4	-398.44	-825	
5/20/2023	10:21:02	-22.7783128	-47.2301522	629.2	0.11	0.03	35.81	57	62311	91.73	-11.69	-24.59	-386.47	-416.99	-841
5/20/2023	10:21:02	-22.7783128	-47.2301522	629.2	0.11	0.03	35.83	57	62325	84.67	-27.57	-9.78	-293.21	-344.79	-847
5/20/2023	10:21:02	-22.7783128	-47.2301522	629.2	0.11	0.03	35.85	57	62319	95	-35.57	-8.52	-316.65	-314.51	-826
5/20/2023	10:21:02	-22.7783128	-47.2301522	629.2	0.11	0.03	35.86	57	62324	93.86	-32.04	-13.12	-324.16	-406.8	-890
5/20/2023	10:21:02	-22.7783128	-47.2301522	629.2	0.11	0.03	35.84	57	62280	97.61	-42.53	-0.88	-322.39	-458.19	-936
5/20/2023	10:21:02	-22.7783128	-47.2301522	629.2	0.11	0.03	35.88	57	62202	99.22	-63.74	13.75	-418.64	-351.87	-841
5/20/2023	10:21:02	-22.7783128	-47.2301522	629.2	0.11	0.03	35.88	57	62209	73.04	-47.26	-2.84	-504.82	-394.35	-831
5/20/2023	10:21:03	-22.7783132	-47.2301522	629.2	0.37	0.1	35.91	57	62206	65.55	-42.03	-15.57	-543.27	-253.42	-799
5/20/2023	10:21:03	-22.7783132	-47.2301522	629.2	0.37	0.1	35.91	57	62243	66.03	-30.7	-21.45	-624.27	-298.16	-812
5/20/2023	10:21:03	-22.7783132	-47.2301522	629.4	0.37	0.1	35.94	57	62259	73.74	-24.06	-11.41	-602.05	-208.25	-882
5/20/2023	10:21:03	-22.7783132	-47.2301522	629.4	0.37	0.1	35.9	37	62280	60.17	-20.86	-7.41	-551.45	-223.27	-941
5/20/2023	10:21:03	-22.7783132	-47.2301522	629.4	0.37	0.1	35.95	37	62322	75.29	-21.08	-2.53	-511.05	-159.73	-946
5/20/2023	10:21:03	-22.7783132	-47.2301522	629.4	0.37	0.1	35.98	37	62384	84.11	-34.88	-10.36	-564.33	-42.66	-944
5/20/2023	10:21:03	-22.7783132	-47.2301522	629.4	0.37	0.1	35.97	37	62379	96.3	-35.13	-1.22	-545.1	8.79	-913.02
5/20/2023	10:21:04	-22.7783127	-47.2301518	629.6	0.17	0.05	35.98	37	62363	64.72	-17.04	-6.48	-544.43	-8.36	-1043
5/20/2023	10:21:04	-22.7783127	-47.2301518	629.6	0.17	0.05	35.98	37	62377	77.5	-36.34	-1.39	-505	128.72	-884
5/20/2023	10:21:04	-22.7783127	-47.2301518	629.6	0.17	0.05	36.04	37	62370	95.79	-27.25	-15.62	-495.3	113.95	-942
5/20/2023	10:21:04	-22.7783127	-47.2301518	629.6	0.17	0.05	36.04	37	62329	92.74	-15.21	-14.66	-562.19	47.06	-1059
5/20/2023	10:21:04	-22.7783127	-47.2301518	629.6	0.17	0.05	36.03	37	62310	84.9	-24.49	-11.63	-516.48	102.54	-1081

Fonte: Autoria própria

Com uma análise mais profunda dos dados é possível avaliar qual foi a taxa de erro de cada sensor, e avaliar a latência e perda de pacote do módulo bluetooth.

A latência da comunicação Bluetooth Low Energy (BLE) do ESP32 da Heltec LoRa pode variar dependendo de vários fatores, incluindo a configuração do sistema, a distância entre os dispositivos e a carga de trabalho na rede BLE.

A análise de correlação entre os dados de GPS e os batimentos cardíacos indicou uma relação positiva significativa entre a velocidade do kart e os batimentos cardíacos dos pilotos. Quanto maior a velocidade do kart, maior era a frequência cardíaca dos pilotos, com exceção das freadas bruscas para evitar uma colisão. Essa análise foi obtida observando os gráficos anteriores.

5 CONCLUSÃO

Neste último capítulo, serão apresentadas as conclusões do estudo com base nos resultados obtidos. Serão destacados os principais achados, contribuições para o campo de estudo e recomendações práticas.

Os dados coletados durante as corridas foram analisados de forma quantitativa e qualitativa. Para a análise quantitativa, foram utilizadas medidas estatísticas descritivas, como média, desvio padrão e correlações entre os dados de GPS e os batimentos cardíacos. Já a análise qualitativa envolveu a interpretação dos relatos dos pilotos e a identificação de padrões e tendências emergentes.

A partir dos testes realizados foi possível a validação do sistema de telemetria para esta aplicação, desenvolvimento de equipamentos funcionais e robustos de baixo custo que atendam as expectativas e objetivos especificados no projeto. Análise e comparação das leituras do monitoramento físico, e foi obtido todo o aprendizado necessário durante o desenvolvimento de equipamentos IoT, por ser um projeto complexo e completo envolvendo várias tecnologias muito utilizadas atualmente.

O protótipo se mostrou funcional e eficaz, necessitando apenas de pequenas alterações e melhorias para o melhor desempenho. Como trabalho futuro é possível realizar algumas melhorias, como utilizar um display maior para melhorar a usabilidade do piloto, desenvolver um aplicativo para visualização em tempo real, utilizar a tecnologia LoRaWan, que já está integrada ao módulo, entre inúmeras outras possibilidades de melhoria. Este projeto pode ser adaptado para várias aplicações diferentes, sendo útil em múltiplas áreas relacionadas ao automobilismo.

REFERÊNCIAS

O'Neill BV, Davies KM, Morris-Patterson TE. Singapore Sling: F1 Race Team Cognitive Function and Mood Responses During the Singapore Grand Prix. *J Strength Cond Res.* 2020 Dec;34(12):3587-3592. doi: 10.1519/JSC.0000000000002267. PMID: 29140907.

SOUSA, Phablo Araújo de; PAULA, Karla Suélita Silva de; HONÓRIO, Daniela. Lançamento de uma sonda atmosférica de baixo custo. *Rev. Bras. Ensino Fís., [S. l.], p. 44, 3 out. 2022.*

Sanchez-Iborra, R.; G. Liaño, I.; Simoes, C.; Couñago, E.; Skarmeta, A.F. Tracking and Monitoring System Based on LoRa Technology for Lightweight Boats. *Electronics* 2019, 8, 15. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/electronics8010015>

Forsdyke D, Smith A, Jones M, et al Psychosocial factors associated with outcomes of sports injury rehabilitation in competitive athletes: a mixed studies systematic review *British Journal of Sports Medicine* 2016;50:537-544.

BROUGHALL, Matt. O que é a força G e como ela está relacionada à condução brusca? Geotab, 2020. Disponível em: <https://www.geotab.com/pt-br/blog/o-que-%C3%A9-for%C3%A7a-g/> Acesso em: 20 de abril de 2023.

INTERFACE ublox NEO-6M GPS Module with Arduino, Lastminuteengineers, 2023. Disponível em: <https://lastminuteengineers.com/neo6m-gps-arduino-tutorial/> Acesso em: 20 de maio de 2023.

HRISKO, Joshua. Arduino SD Card Module Data Logger. Makersportal, 2019. Disponível em: <https://makersportal.com/blog/2019/3/24/arduino-sd-card-module-data-logger> Acesso em: 18 de maio de 2023.

LORA, O que é ESP32 LoRa Heltec? Usinainfo, 2023. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/lora-613>. Acesso em: 25 de maio de 2023.

STRAUB, Matheus Gebert. Módulo regulador de tensão e componentes. Usinainfo, 2019. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/blog/modulo-regulador-de-tensao-e-componentes-qual-a-diferenca-entre-eles-e-qual-comprar/> Acesso em: 25 de maio de 2023.

T-WRISTBAND. Lilygo, 2022. Disponível em: <https://www.lilygo.cc/products/t-wristband> Acesso em: 13 de maio de 2023.

LILYGO t-pulseira módulo sensor de expansão max30102 detecção de frequência cardíaca fotoelétrica. Aliexpress, 2022. Disponível em: <https://pt.aliexpress.com/item/1005002682259060.html> Acesso em: 13 de maio de 2023.

LILYGO T-Wristband. 2023. Disponível em https://olddocs.zerynth.com/r2.6.1/official/board.zerynth.lilygo_twristband/docs/index.html Acesso em: 10 de fevereiro de 2023.

IVENSENSE. MPU-9250 Product Specification. Digikey, 2016. Disponível em: <https://www.digikey.jp/htmldatasheets/production/1431889/0/0/1/mpu-9250.html>. Acesso em: 10 de maio de 2021.

KICAD EDA: A Cross Platform and Open-Source Electronics Design Automation Suite. Version 7.0.2. Kicad, 2023. Disponível em: <https://www.kicad.org/> Acesso em: 10 de out. de 2022.

SYSTEMS ESPRESSIF. ESP32WROOM32 Datasheet. p. 27, 2022. Disponível em: <https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom32_datasheet_en.pdf>.

JLPCB, order. Jlcpcb, 2023. Disponível em: <https://jlcpcb.com/order>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2023. IRACING, 2023. Disponível em: <https://www.iracing.com/overview/>. Acesso em: 15 de abril de 2023.

THIN, A. G., Hansen, L., & McEachen, D. (2011). Flow experience and mood states while playing body movement-controlled video games. *Games and Culture*, 6(5), 414-428.
doi:10.1177/1555412011402677

B. BLANCAN, "Les pouvoirs de l'eau: Les preuves troublantes du lien entre l'eau et la conscience". Paris: ´ Editions Eyrolles, 2021. 204 p. ISBN 978-2-416-00115-4.

INTRODUÇÃO aos mapas 3D. Microsoft, 2023. Disponível em: <https://support.microsoft.com/pt-br/office/introdu%C3%A7%C3%A3o-ao-mapas-3d-6b56a50d-3c3e-4a9e-a527-eea62a387030>. Acesso em: 15 de janeiro de 2023.

ALFANO. 2022. ALFANO - ALFANO. Disponível em: <https://www.alfano.com/> Acesso em: 18 de abril 2022.

TELEMETRIA no kart amador, 2017. Disponível em: <https://kartbuzz.com.br/telemetria-no-kart-amador/> Acesso em: 18 de fevereiro 2022.

MYCHRON, 2022. Nuevo Mychron5S datalogger para karting GPS integrado, Wi-Fi, batería. Disponível em: <https://aimdobrasil.com.br/mychron5-2-2/> Acesso em: 18 de Abril 2022.

Heltec LoRa, 2022. Disponível em:

<https://www.amazon.ae/HiLetgo-Development-Bluetooth-863-928MHz-Unsoldered/dp/B07WHRS2XG>

Acesso em: 20 de fevereiro 2022.

7 APÊNDICES

7.1 APÊNDICE A – Questionário de Telemetria

Perguntas Respostas **65** Configurações



Seção 1 de 3

Formulário de Telemetria Automobilística

Pilotos sejam bem vindos! Meu nome é Carolina Frangeto, sou mestranda da Engenharia Elétrica na PUC-Campinas, e meu projeto é desenvolver um sistema robusto e de baixo custo para telemetria em karts. Acredito que ter acesso a algumas informações durante e depois da corrida é essencial para traçar estratégias e melhorar a performance dos pilotos, principalmente em corridas de longa duração onde o momento exato da troca de um piloto ou kart é essencial para o sucesso da equipe. Portanto, venho convidá-lo para participar do questionário abaixo que contribuirá para criação de um dispositivo que atenda as necessidades essenciais de um piloto de kart.

1. Você é maior de idade e concorda em participar dessa pesquisa? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim, sou maior de idade e concordo em participar.
- Não concordo ou sou menor de idade.

Questionário para os pilotos

2. Qual sua faixa etária?

Marcar apenas uma oval.

- 18 a 24 anos
- 25 a 29 anos
- 30 a 34 anos
- 35 a 39 anos
- 40 a 44 anos
- 45 a 49 anos
- 50 a 54 anos
- 55+
- Outro: _____

3. Com qual frequência você participa de campeonatos?

Marcar apenas uma oval.

- Mensalmente
- Anualmente
- Raramente
- Nunca participei, só baterias normais.

4. Já usou algum dispositivo de telemetria?

Marque todas que se aplicam.

- Nunca usei
- Alfano
- Mychron
- Outro: _____

5. Qual o dado mais importante para ficar em destaque no display do kart durante a corrida?

Marcar apenas uma oval.

- Tempo da sua melhor volta
- Tempo da diferença da sua volta atual em relação a melhor volta
- Tempo da ultima volta
- Tempo da volta atual
- Velocidade atual
- Número da volta atual
- Outro: _____

6. Quais dados devem aparecer no display do kart durante a corrida? Selecionar mais de um.

Marque todas que se aplicam.

- Tempo da sua melhor volta
- Tempo da diferença da sua volta atual em relação a melhor volta
- Tempo da ultima volta
- Tempo da volta atual
- Velocidade atual
- Número da volta atual
- Bateria do dispositivo
- Temperatura local
- Outro: _____

7. Quais funções são essenciais para o dispositivo no kart ? Selecionar mais de um.

Marque todas que se aplicam.

- Painel de visualização
- Botão de reset
- Botão On/Off
- Quanto menos informação melhor
- O máximo de configurações possíveis
- Outro: _____

8. Você acha importante ter esses dados salvos em qual local?

Marcar apenas uma oval.

- Nuvem
- Pendrive
- Micro SDCard
- Não importa desde que eu possa fazer um backup
- Outro: _____

9. Quanto você investiria no dispositivo para uso individual? Composto por um display disponibilizando os dados em tempo real e geração de um relatório no término de cada corrida.

10. Qual sua principal queixa ou sugestão em relação aos dispositivos de telemetria para kart?

Questionário para a equipe

11. Quais informações são importantes disponibilizar para a equipe monitorar os pilotos durante a corrida?

Marque todas que se aplicam.

- Gráfico de comparação dos dados coletados em pilotos e karts diferentes
- Relatório individual de cada piloto/kart
- Temperatura corporal e frequência cardíaca
- Circuito da pista
- Outro: _____

12. Você acha importante acompanhar o estado físico (temperatura corporal, frequência cardíaca, etc..) dos pilotos durante a corrida?

Marcar apenas uma oval.

- Sim
- Não
- Outro: _____

13. Qual a melhor forma de visualizar as informações da corrida em tempo real?

Marcar apenas uma oval.

- Aplicativo no celular
- Software no notebook
- Site com login e senha
- Outro: _____

14. Sua equipe é composta por quantos pilotos?

Marcar apenas uma oval.

- Não participo de uma equipe
- 2 a 5
- 6 a 10
- 11 a 15
- 16 a 20
- 21 a 30
- Outro: _____

15. Quanto você investiria em um sistema de telemetria completo para sua equipe? Composto por um dispositivo de monitoramento no Box, com acesso aos dados via interface gráfica em tempo real e com relatórios de cada corrida.

16. Qual sua principal queixa ou sugestão em relação a telemetria?

7.2 APÊNDICE B – Respostas Questionário de telemetria

Formulário de Telemetria Automobilística

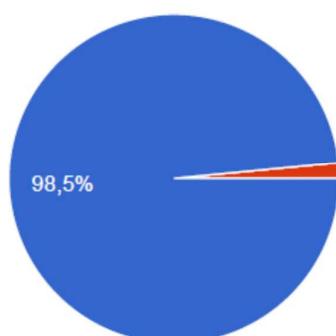
65 respostas

[Publicar análise](#)

Você é maior de idade e concorda em participar dessa pesquisa?

[Copiar](#)

65 respostas



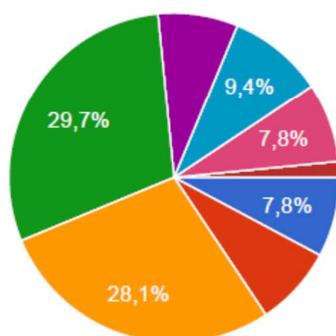
- Sim, sou maior de idade e concordo em participar.
- Não concordo ou sou menor de idade.

Questionário para os pilotos

Qual sua faixa etária?

[Copiar](#)

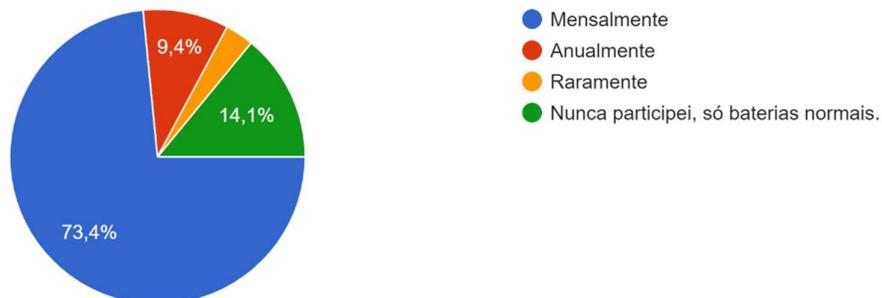
64 respostas



- 18 a 24 anos
- 25 a 29 anos
- 30 a 34 anos
- 35 a 39 anos
- 40 a 44 anos
- 45 a 49 anos
- 50 a 54 anos
- 55+
- Piloto CBA super Sênior Master

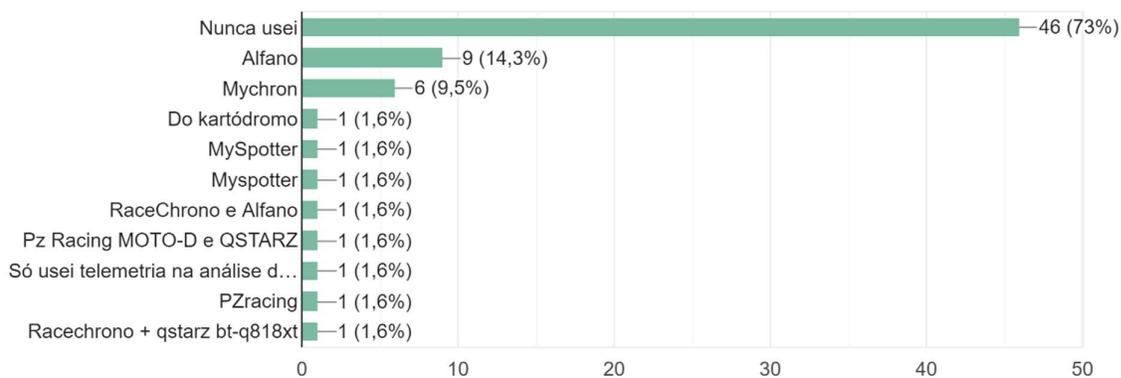
Com qual frequência você participa de campeonatos?

64 respostas



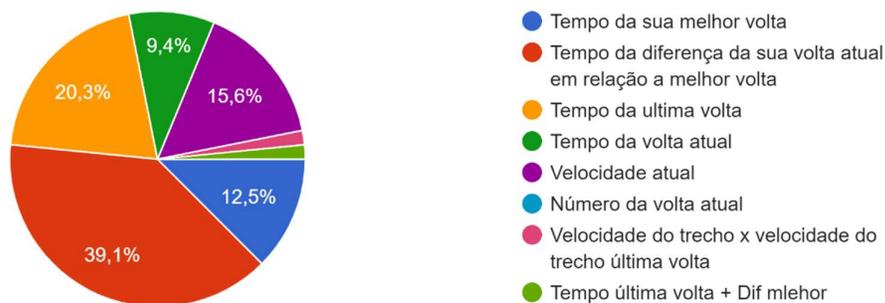
Já usou algum dispositivo de telemetria?

63 respostas



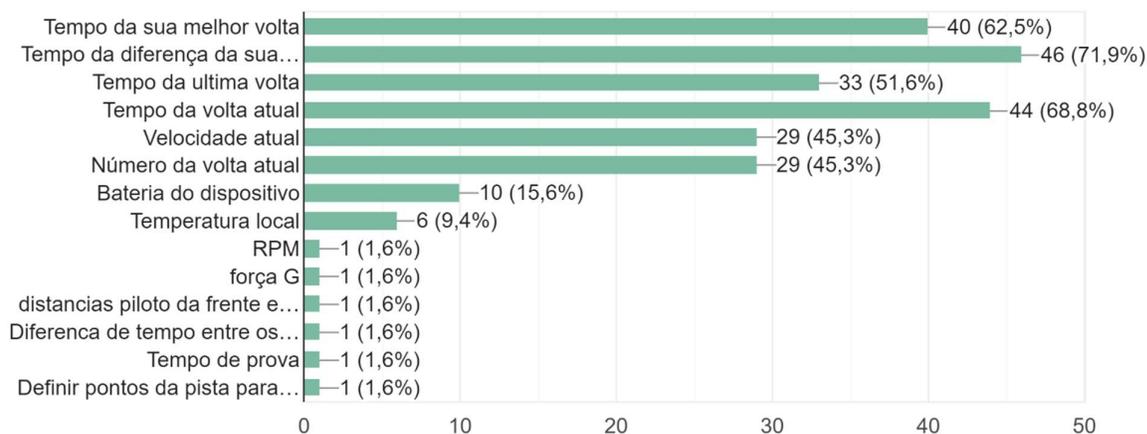
Qual o dado mais importante para ficar em destaque no display do kart durante a corrida?

64 respostas



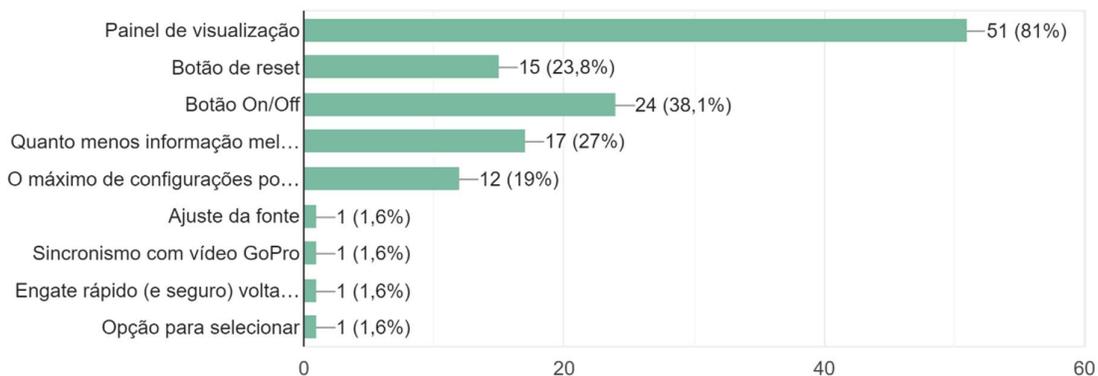
Quais dados devem aparecer no display do kart durante a corrida? Seleccionar mais de um.

64 respostas



Quais funções são essenciais para o dispositivo no kart ? Seleccionar mais de um.

63 respostas



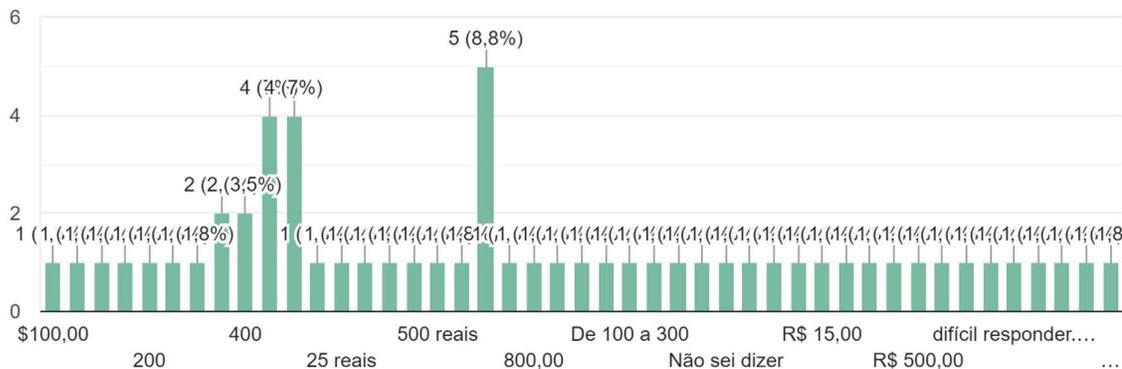
Você acha importante ter esses dados salvos em qual local?

64 respostas



Quanto você investiria no dispositivo para uso individual? Composto por um display disponibilizando os dados em tempo real e geração de um relatório no término de cada corrida.

57 respostas



Qual sua principal queixa ou sugestão em relação aos dispositivos de telemetria para kart?

47 respostas

Valor

Nunca usei, então não tenho queixa

Ha diferentes paginas de visualização, mas estas sao prontas, pre definidas. Gostaria de criar a pagina de visualizacao 100% customizada

R\$300

Nunca usei, mas seria bem interessante ter os dados tanto em tempo real quanto para historico

Não tenho nenhuma queixa pois nunca utilizei

Falta de precisão

não tenho

Muitas configurações

Não utilizei

São poucos e caros

Parcial do tempo atual de volta comparado com a parcial da melhor volta

Custo e uso em kart rental (portabilidade)

preço

Custo

Melhor volta



A melhor função que pode existir é saber realtime se sua volta está melhorando ou não, função que identifiquei apenas no aparelho AIM SOLO 2

Alto custo

São caros

Muito caros

Nenhuma

Custo/Integração

Manual de instruções mais claro e objetivo

Só usei a análise de telemetria no PC editando o vídeo. Nunca usei durante a corrida.

Quase não uso

Difícil configuração

Na

Baixa frequência de amostragem.

Não tenho

a precisão ou confiança nos dados informados que submete-se a precisão dos dados mostrados.

Facilidade de buscar informações

Não consigo avaliar

Nunca usei

Sincronismo com GoPro

não há nada voltado para rental kart. Todos são voltados pra kart profissional. Não há um dispositivo de encaixe rápido nos volantes dos rental karts

Não há telemetria real time, há na verdade uma coleta de dados para análise futura. Um sistema de verdadeira telemetria, com envio de dados instantâneos para a equipe no box seria um enorme avanço.

nunca usei



preço + falta de engate rapido pro indoor

Visualização dinâmica

N/A

Não sei.pq nunca usei

ser simples e eficiente

Nunca usei, então não tenho queixas ainda

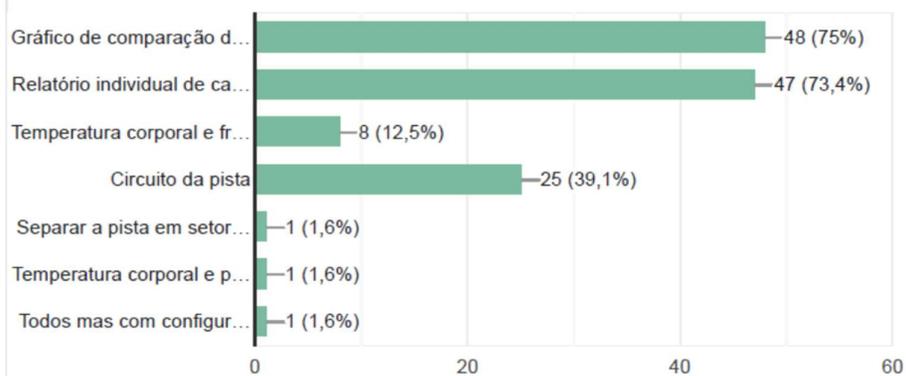
Nunca usei 🧑

Questionário para a equipe

Quais informações são importantes disponibilizar para a equipe monitorar os pilotos durante a corrida?

 Copiar

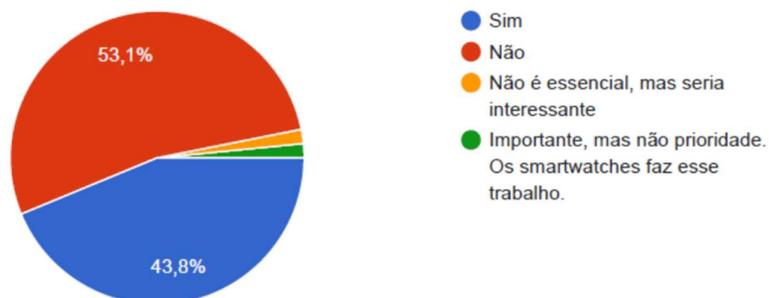
64 respostas



Você acha importante acompanhar o estado físico (temperatura corporal, frequência cardíaca, etc..) dos pilotos durante a corrida?

 Copiar

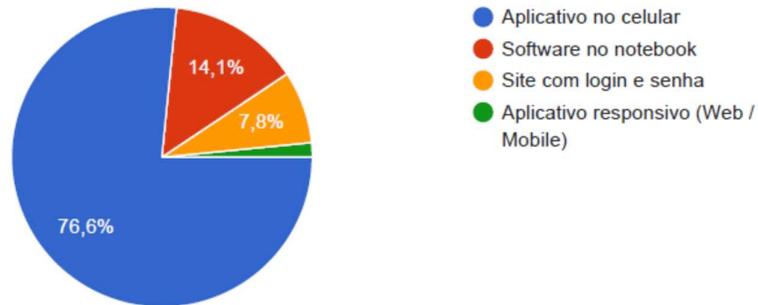
64 respostas



Qual a melhor forma de visualizar as informações da corrida em tempo real?

Copiar

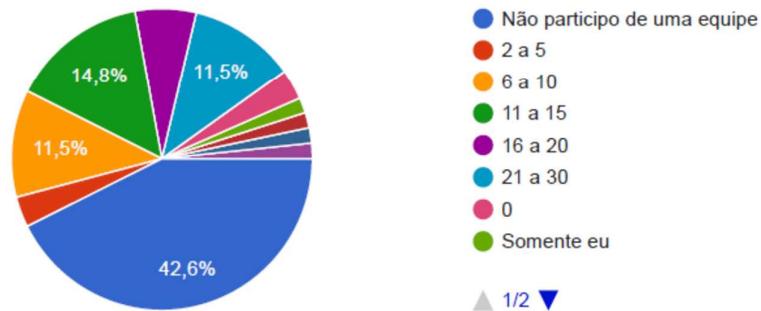
64 respostas



Sua equipe é composta por quantos pilotos?

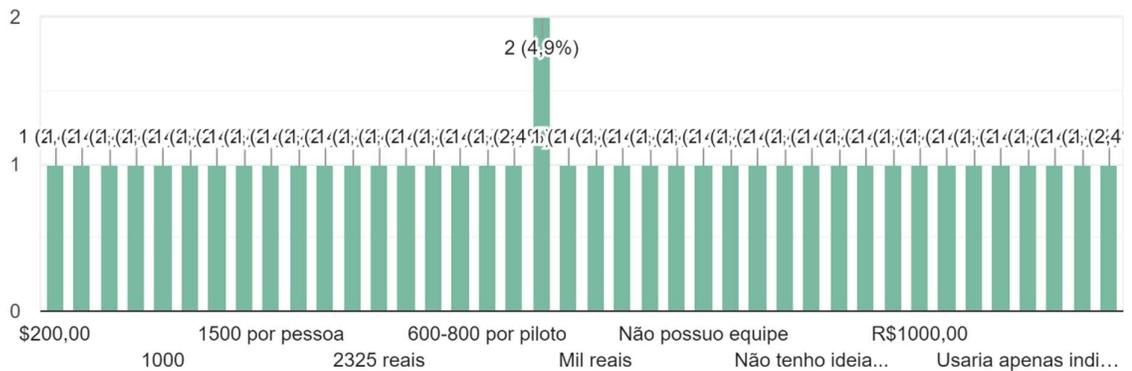
Copiar

61 respostas



Quanto você investiria em um sistema de telemetria completo para sua equipe? Composto por um dispositivo de monitoramento no Box, com acesso ... em tempo real e com relatórios de cada corrida.

41 respostas



Qual sua principal queixa ou sugestão em relação a telemetria?

31 respostas

Precisão

Não tenho experiência

Sem resposta...

Dados errados e com baixa precisão

Eu acho que não tenho queixas, pois ajuda a mostrar velocidade, rotação, frenagem, aquecimento do motor...etc

Custo e complexidade

apresentar pontos de aceleração e frenagem mais frequentes indicando os principais possíveis pontos de ultrapassagens e oportunidades de melhoras de tempo.

Não sei opinar

Nunca utilizei

Uso o Myspotter nos endurances e o principal problema é o case q usamos adaptado de case de celular de moto. É difícil mante-lo fixo no volante e qdo chove é de difícil visualizacão

Portabilidade

n/a

como sugestão desenvolver a função de identificação real time se a volta está melhor do que a melhor volta como o AIM SOLO 2

Custo

N sei

Difícil configuração de tempos em curvas ou trechos.



Não tenho

que estas informações possam ser acompanhadas em tempo real e de fácil acesso

Não sei responder

Muito caro quando o aplicativo é integrado ao gps.
mais acessível quando o gps bluetooth conecta ao celular, mas tem que carregar dois dispositivos.

Simplicidade e sincronismo fácil com vídeos GoPro

não há nada dedicado ao rental kart. Se quiser conversar em mais detalhes comigo, me mande um e-mail para - Eu atualmente moro na Polônia e tenho corrido diversos campeonatos de rental kart

Ja informado, não existe ainda telemetria realtime, isso sim seria um grande avanço.

nunca usei

Eu gosto de dados de forma geral. Sou da academia, então adoro essa parte. Porém um potencial cliente geral quer saber somente o 'dado tratado', ou seja, um app que facilite a decifrar aquele dado. Seria um engenheiro de equipe artificial (app ou setup). Porém o piloto que realmente melhorar precisa aprender a ler dados, ou pagar um engenheiro.

Visualização dinâmica

Nunca usei, não posso responder.

Ser o mais simples e prático possível

Não tenho nenhuma ainda

Monitoring Karting Pilot's Moodflow: a First Experience

1st Carolina Frangeto
dept. Electrical Engineering
PUC de Campinas
Campinas, Brazil
0000-0001-6647-6990

2nd Marcius Carvalho
dept. CEATEC
PUC de Campinas
Campinas, Brazil
0000-0003-4312-206X

3rd Frederic Andres
National Institute of Informatics
Tokyo, Japan
0000-0002-5003-7579

4th Bernard Blancan
CIRET
Paris, France
0000-0002-7693-514X

5th Lia Toledo Moreira Mota
dept. CEATEC
PUC de Campinas
Campinas, Brazil
0000-0002-1218-5773

Abstract—This paper examines the application of the mood flow as a way to support decisions on the Indoor kart race. This competition is composed of the kart drivers and the support team that stay in the box monitoring the kart and driver performance. The proposal is to evaluate the driver behaviour during the path of the race with the kart circuit characteristics represented by circuit length, difficulty level of the circuit, speed of the circuit, angles of each turn, accidents, and stops. The results show a high correlation of the driver mood flows with the circuit trajectory and events.

Index Terms—Moodflow, kart, racing, race, monitoring

I. INTRODUCTION

Indoor kart is a modality of motorsport that has to gain space nationally and attracting major investors. In some competitions, called Endurance, races can last for hours and during the championships, the support team that stays in the boxes monitors the performance of the karts and driver, guides the drivers and karts exchange in the same team, and collect data for future processing. For better management of the races, in a short time and long time decisions, are necessary real-time and after-competition monitoring of the events to coordinate and align strategies looking for having a better race performance. The emotions and individual feelings of the driver are essential to the success of the race and must be accomplished with attention during the races. The emotions and individual feelings have found little attention during the kart races competitions. Emotions have mostly been discussed during traveling consumption experiences as a form of moods that underlie, for example, as a flow of recreation activities where the relationship between activities and their relationship to individual emotions deserves ongoing attention, as an element to form a concept and from that to improve understanding and the motivations for these activities [1]. Moods have been described as complex affective states, without a specific target, that is pervasive in their effect and is transient. They have

We would like to thank the NII International Internship Program for this 2021-2022 research project

little cognitive content, and consequently, mood measurements appear as relatively unsophisticated procedure with simple scales that are anchored by 'feeling good' vs. 'feeling bad' or 'feeling happy' vs. 'feeling sad'. This paper proposes that a better understanding of underlying emotions of the motivation in races competitions experiences can help qualify of the results. For this, an innovative tool was used, through a water icon, with which very concrete and reproducible experiments were carried out, allowing us to highlight the fact that our consciousness is connected to water, even at a great distance. The interest of these measures is to be able to detect and reveal our vital impulses, our deep feelings (like a lie detector), where the social game and moral prejudices can deceive our conscious feelings based on the DoubleYou Concept [2]. The paper is structured as follows: Section II describes the experimentation environment. Then Section III reviews the experimental measurements. Finally, Section IV analyses the different moodflow monitoring results and Section V concludes.

II. EXPERIMENT DESCRIPTION

For initial validation of the method, two tests were carried out: the first one lasting for two days of training occurred with a driver using and two karts: a professional and a rental kart one. The first tests took place on 06/12/2021 and 06/13/2021 at the international kart circuit of Nova Odessa, in the state of São Paulo in Brazil. And the second test took place during the Winter Tournament at Granja Viana Karting circuit in Cotia, state of São Paulo, on 07/18/2021. The volunteer driver of the test is 1.79 meters and 110 kg, male with 32 years of age and started in a kart team a little over a year ago, but he participates monthly in races. He only races in championships and tournaments for amateurs with the rental kart, and with professional kart suitable for training. At the beginning of each test day the driver receives the water icon to start moodflow monitoring, as shown in the architecture of the experimentation in Figure 1.

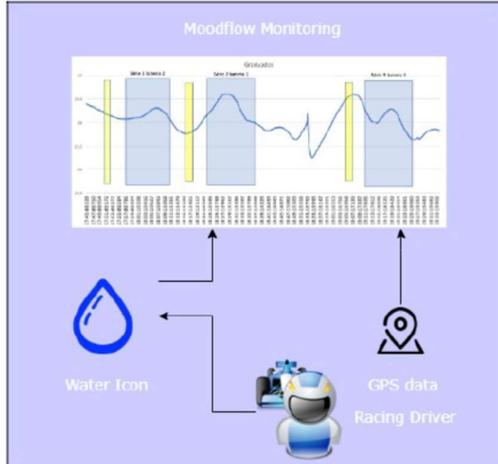


Fig. 1. Experiment Architecture.

III. EXPERIMENTAL MEASUREMENTS

During the stages of the races, time, GPS position, speed and time data were collected at 100 millisecond interval by the GoPro camera with the GPS activated, files with the MP4 extension were generated at the end of each race. These files, compiling the race results, were sent to a website where the data was uploaded and delivered in graphs for each lap. With this information was possible to compare the results and times of each collection with the results collected from moodflow.

IV. ANALYSE

The runs performance analysis was made comparing the data collected by GPS, such as speed, accidents, and driver reporting compared to data collected from the mood in time. Below is the analysis of each race held in three days of testing.

A. First Test: Practices

During training period, the driver prepared the cart and started to practice to know the circuit before the start of championship. The kart had some technical problems and needed to go back to the box. Figure 2 shows a drop of driver concentration identified by the moodflow. In the second training shown in Figure 3, the driver regained confidence and had an increase in concentration.

B. First test: King Kart Cup

It is possible to see in the image in figure that there was an increasing drop in concentration, as the pilot reported the kart was not working very well, which disappointed him.

C. First test: CKB - Storm

Rigth at the beginning of the race , the kart had clutch problems and the driver lost ten positions. In the first laps, other competitors hit the his kart, which pissed him off and took away his concentration. There were more incidents during



Fig. 2. MoodxTime 1st Training.



Fig. 3. MoodxTime 2st Training.

this race, where we can see in the image below that the mood level is falling. Others accidents occurred during the race, as represented by decreasing moodflow curve.

D. First test: CKB - Xtreme

During this race, the karts slow down and reverse course in the opposite direction, below we can see how the yield decreases. The pilot starts the 1st part very concentrated (flat curve) and fights until the end. He is less optimistic for the 2nd part of the race.

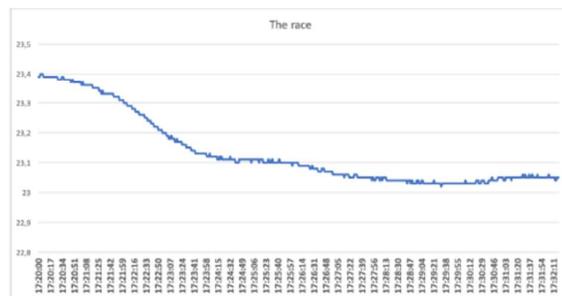


Fig. 4. MoodxTime King Kart Cup.

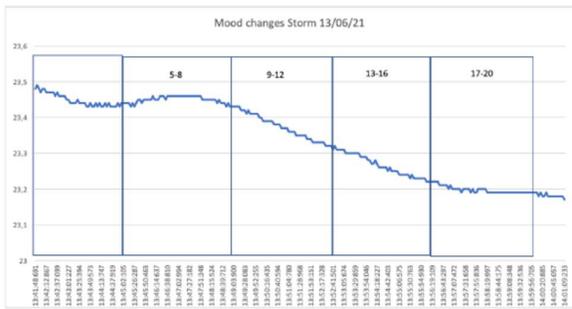


Fig. 5. MoodxTime Storm.

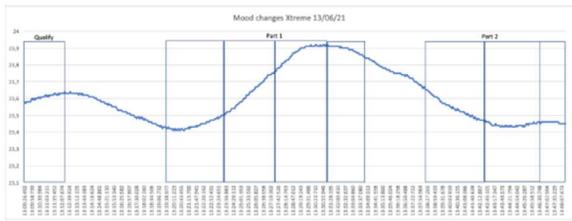


Fig. 6. MoodxTime Xtreme.

E. Second Test: Winter Tournament

There were three races of two categories, Super Graduados and Graduados, the driver was unable to qualify for the finals of the respective categories, remembering that in the graduate's category, his performance was lower due to the rider's weight, which was about 15 kg above average.



Fig. 7. MoodxTime Super Graduados.

The previous image shows the mood flow during the three stages of the Super Graduated category, if we compare it with the GPS measurements, we notice that when the pilot almost suffers a crash, needing to reduce his speed in Figure 8, at 14:30:02 his concentration drops a little bit, as in Figure 9, where it is possible to see the curve of the speed of the kart in miles per hour versus the space traveled in meters of a complete lap in the Super Graduados category. There was an accident on that lap where the kart stopped completely, following the mood at the same time it is possible to see a break in concentration at that moment at 14:37:47.

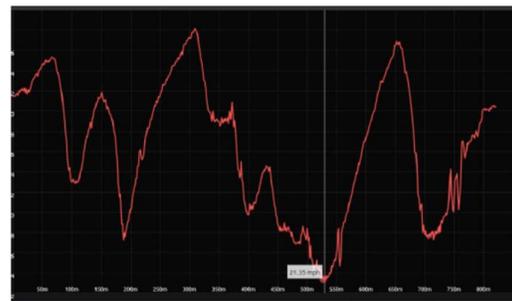


Fig. 8. mphxMeter SG Serie 1 Bat 2 Lap 2 accident.

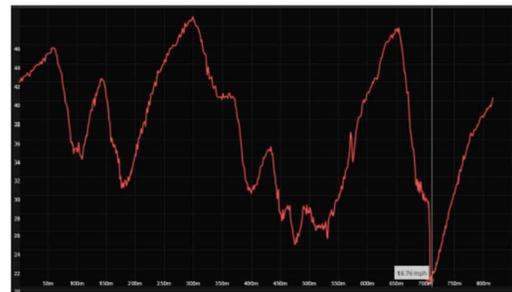


Fig. 9. mphxMeter SG serie 1 Bat 2 Lap 10 accident.

The driver suffers another accident in another race of the same category, where the kart stops completely, shown in Figure 10, which occurs at 16:16:07, and in the mood graph, it is possible to see a small drop in concentration.

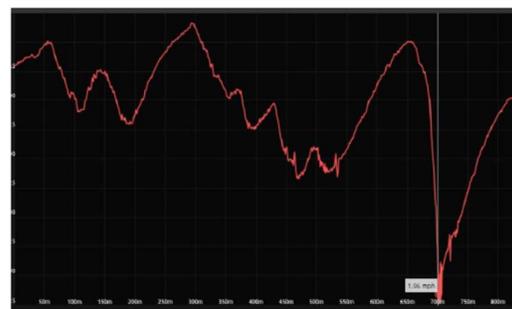


Fig. 10. mphxMeter SG serie 3 bat 2 lap 12 accident.

The images below shows the mood flow during the three stages of the Graduated category, where the driver was above average, already expecting a bad result in the races. As it is possible to see in the image below, the pilot's performance dropped as well as his concentration.

V. CONCLUSION AND FUTURE WORK

Comparing the driver's performance by speed and occurrences during the race versus the mood analysis, it was

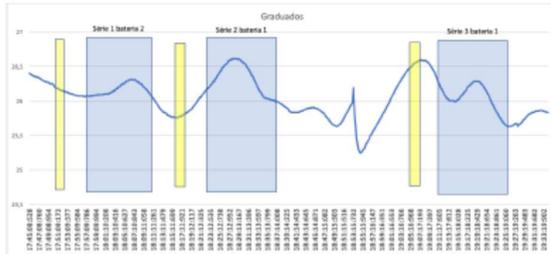


Fig. 11. MoodxTime Graduados.

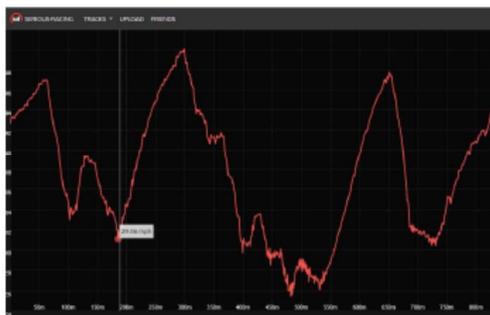


Fig. 12. mphxMeter G serie 3 Bat 1 Lap 10 performance dropped.

possible to see a good relationship between them. With the proper monitoring of these analyzes combined with the reading of some sensors, it will be possible to examine in greater detail the driver's performance and stress level before and during the races. With this information, the team will be able to relocate drivers when necessary with better efficiency. Further experiences will be done to analyse more in detail the relationship between the mood of the pilot and the driving efficiency.

ACKNOWLEDGMENT

We would like to thank you the National Institute of informatics and Pontificia Universidade Católica de Campinas.

REFERENCES

- [1] J. Gnoth, A. Zins, R. Lengmueller and C. Boshoff, "Emotions, Mood, Flow and Motivations to Travel, Journal of Travel and Tourism Marketing" 9:3, 23-34, 2000.
- [2] B. Blancan, "Les pouvoirs de l'eau: Les preuves troublantes du lien entre l'eau et la conscience". Paris: Éditions Eyrolles, 2021. 204 p. ISBN 978-2-416-00115-4.

7.4 APÊNDICE D – Código da Pulseira

```
#include <pcf8563.h>#include <TFT_eSPI.h>
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include "sensor.h"
#include "esp_adc_cal.h"
#include "charge.h"

#include <BLEDevice.h>
#include <BLEUtils.h>
#include <BLEServer.h>
#include <BLE2902.h>
#include "MPU9250.h"
#include "MAX30105.h"
#include "heartRate.h"

//código BLE
#define SERVICE_UUID    "xxxxxx"
#define CHARACTERISTIC_UUID "xxxxx"

BLECharacteristic
bmePulseiraCharacteristics(CHARACTERISTIC_UUID
D, BLECharacteristic::PROPERTY_NOTIFY);
BLEDescriptor
bmePulseiraDescriptor(BLEUUID((uint32_t)0x290
3));

#define TP_PIN_PIN    33
#define I2C_SDA_PIN    21
#define I2C_SCL_PIN    22
#define IMU_INT_PIN    38
#define RTC_INT_PIN    34

#define BATT_ADC_PIN    35
#define VBUS_PIN    36
#define TP_PWR_PIN    25
#define LED_PIN    4
#define CHARGE_PIN    32
#define HEATRATE_SDA    15
#define HEATRATE_SCL    13

#define MAX_BRIGHTNESS 255 //oximetro

extern MPU9250 IMU; //declarando o sensor
acelerometro

TFT_eSPI tft = TFT_eSPI(); // Invoke library, pins
defined in User_Setup.h
PCF8563_Class rtc;
MAX30105    particleSensor; //sensor cardiaco

/*MAX30105*/
const uint8_t RATE_SIZE = 4; //Increase this for
more averaging. 4 is good.
uint8_t    rates[RATE_SIZE]; //Array of heart rates
uint8_t    rateSpot = 0;
long    lastBeat = 0; //Time at which the last
beat occurred
float    beatsPerMinute;
int    beatAvg;

bool    find_max30105 = false;
bool    showError = false;
bool    pressed = false;
```

```

uint32_t pressedTime = 0;
bool charge_indication = false;

char buff[256];
bool rtclrq = false;
bool initial = 1;
bool otaStart = false;

uint8_t func_select = 0;
uint8_t omm = 99;
uint8_t xcolon = 0;
uint32_t targetTime = 0; // for next 1 second
timeout
uint32_t colour = 0;
uint8_t hh, mm, ss ; //variaveis tempo
uint8_t day, month;
uint16_t year;
int vref = 1100; //tensão de ref

bool deviceConnected = false; //BLE
const int tempoBLE = 100;
unsigned long ultimoEnvio = 0;
long irValue;
unsigned long ultimotempbpm = 0;
const int tempbpm = 100;
float TempOxi;

//Setup callbacks onConnect and onDisconnect
class MyServerCallbacks: public
BLEServerCallbacks {
    void onConnect(BLEServer* pServer) {
        deviceConnected = true;
    };
};

void onDisconnect(BLEServer* pServer) {
    deviceConnected = false;
}

//Funções
void setupADC();
void setupRTC();
void RTC_Show();
void IMU_Show();
String getVoltage();
void ativaBLE();
void enviaBLE();
bool setupMAX30105();
void loopMAX30105();
void MAX30105_Show();
void setup() {
}

void loop() {
}

```

7.5 APÊNDICE E – Código do Display Kart

```
/* Includes -----
-----*/

#include "FS.h"
#include "SD.h"
#include "SPI.h"
#include <time.h>
#include <WiFi.h>
#include "Arduino.h"
#include "heltec.h"
#include <TinyGPSPlus.h>
#include <BLEDevice.h>
#include <esp_adc_cal.h>
#include <driver/adc.h>

/* Define -----
-----*/

//código BLE

#define SERVICE_UUID    "xxxxxxx"
#define CHARACTERISTIC_UUID "xxxxx"

//BLE Server name (the other ESP32 name
running the server sketch)
#define bleServerName "BLE Pulseira"
#define SERIAL1_RX 38 // GPS_TX -> 38
#define SERIAL1_TX 39 // 39 -> GPS_RX

#define BOTSTART 2 //BOTÃO INICIAR
GRAVAÇÃO SDCARD
#define BAT 37 // leitura bateria
#define Fbattery 3700 //The default battery is
3700mv when the battery is fully charged.
float XS = 0.00288; //The returned reading is
multiplied by this XS to get the battery voltage.
uint16_t MUL = 1000;
uint16_t MMUL = 100;

/* Public objects -----
-----*/
// The TinyGPSPlus object
TinyGPSPlus gps;

//SD_file_Recors objSD("gps.csv");

SPIClass spi1;
const char* ssid = "xxxxxxx";
const char* password = "xxxxxx";

/* Global variables-----
-----*/

long timezone = -3;
byte daysavetime = 1;

//botão start //wifi
bool estadoSTART = false;
```

```

bool estadoBtnStart = false;
bool ultimoEstadoBtnStart = false;
int debouncing = 100; //Define tempo Debounce
bool confirmaGravacao = false;
long ultimomillis;
bool StartCorrida = false;
bool novagravacaoSD = false;
String infogps;
int intervaloBLE = 250;
unsigned long ultimaleitura;
String datacorrida = "";
int numcorrida = 1;
String datapulseira = "";
String dadospulseira;
unsigned long leiturabat;
const int periodobat = 10000; //leitura a cada 1
segundo
bool estabgps = false;
int contador = 0;

static BLEUUID bmeServiceUUID(SERVICE_UUID);
static BLEUUID
PulseiraCharacteristicUUID(CHARACTERISTIC_UUI
D);

//Flags stating if should begin connecting and if
the connection is up
static boolean doConnect = false;
static boolean connected = false;

char * PulseiraChar;

//Address of the peripheral device. Address will
be found during scanning...
static BLEAddress *pServerAddress;

//Characteristic that we want to read
static BLERemoteCharacteristic*
PulseiraCharacteristic;

//Activate notify
const uint8_t notificationOn[] = {0x1, 0x0};
const uint8_t notificationOff[] = {0x0, 0x0};

//Flags to check whether new data readings are
available
boolean newDadosPulseira = false;

/* Private function prototypes -----
-----*/

void listDir(fs::FS &fs, const char * dirname,
uint8_t levels);
void deleteFile(fs::FS &fs, const char * path);
void createDir(fs::FS &fs, const char * path);
void removeDir(fs::FS &fs, const char * path);
void readFile(fs::FS &fs, const char * path);
void writeFile(fs::FS &fs, const char * path, const
char * message);
void appendFile(fs::FS &fs, const char * path,
const char * message);
void renameFile(fs::FS &fs, const char * path1,
const char * path2);
void deleteFile(fs::FS &fs, const char * path);
void ativaBLE ();

```

```

void ativaWifi ();

//Connect to the BLE Server that has the name,
Service, and Characteristics
bool connectToServer(BLEAddress pAddress);

//When the BLE Server sends a new data reading
with the notify property
static void
PulseiraNotifyCallback(BLERemoteCharacteristic*
pBLERemoteCharacteristic,
                        uint8_t* pData, size_t length,
bool isNotify);

//Callback function that gets called, when
another device's advertisement has been
received
class MyAdvertisedDeviceCallbacks: public
BLEAdvertisedDeviceCallbacks {
    void onResult(BLEAdvertisedDevice
advertisedDevice) {
        if (advertisedDevice.getName() ==
bleServerName) { //Check if the name of the
advertiser matches
            advertisedDevice.getScan()->stop(); //Scan
can be stopped, we found what we are looking
for

```

```

        pServerAddress = new
BLEAddress(advertisedDevice.getAddress());
//Address of advertiser is the one we need
        doConnect = true; //Set indicator, stating
that we are ready to connect
        Serial.println("Device found. Connecting!");
    }
}
};
/* Bodie of setup function -----
-----*/

void setup() {
}

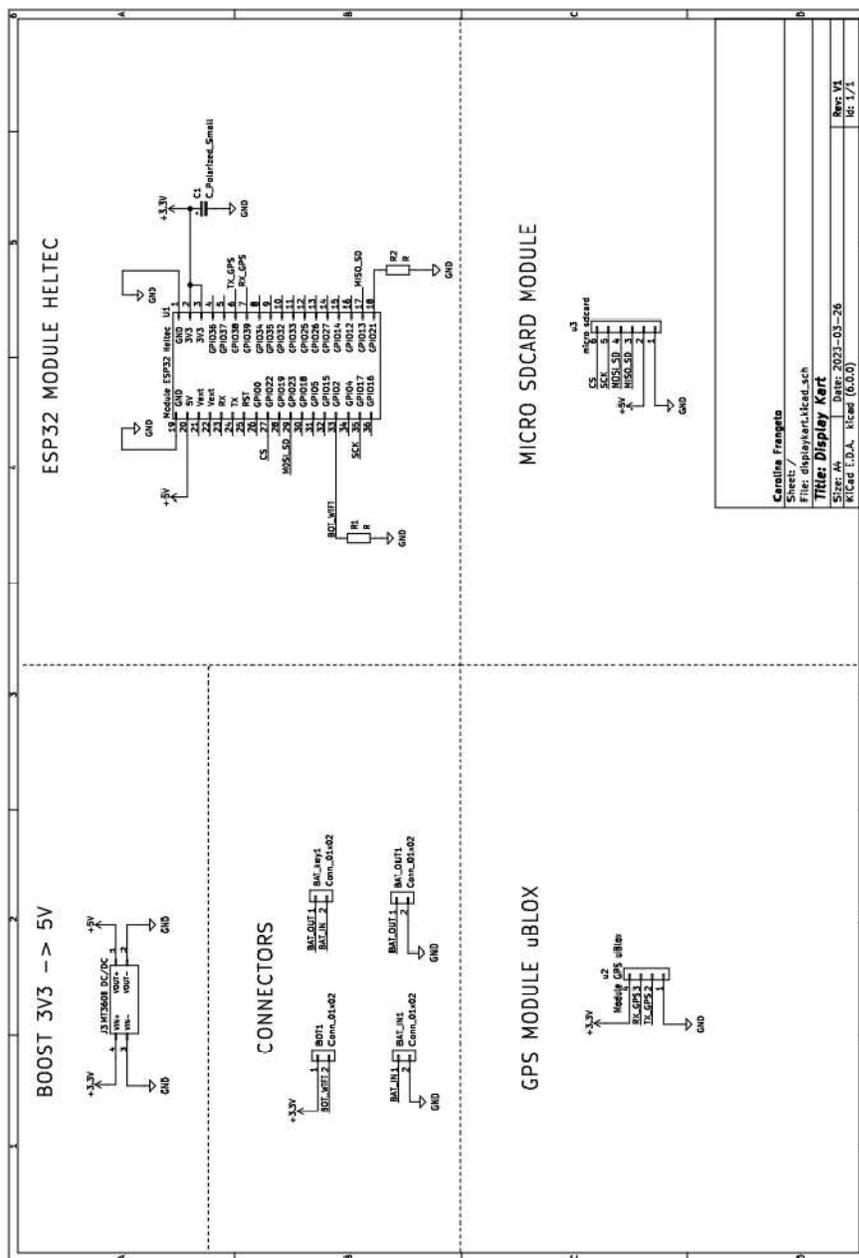
/* Bodie of loop function -----
-----*/

void loop() {
}

/*****END OF
FILE*****/
*/

```

7.6 APÊNDICE F – Esquemático da PCI



7.7 APÊNDICE G – Parecer CEP

Considerações Finais a critério do CEP:

Dessa forma, e considerando a Resolução CNS nº. 466/12, Resolução CNS nº 510/16, Norma Operacional 001/13 e outras Resoluções vigentes, e, ainda que a documentação apresentada atende ao solicitado, emitiu-se o parecer para o presente projeto: Aprovado. Conforme a Resolução CNS nº. 466/12, Resolução CNS nº 510/16, Norma Operacional 001/13 e outras Resoluções vigentes, é atribuição do CEP “acompanhar o desenvolvimento dos projetos, por meio de relatórios semestrais dos pesquisadores e de outras estratégias de monitoramento, de acordo com o risco inerente à pesquisa”. Por isso o/a pesquisador/a responsável deverá encaminhar para o CEP PUC-Campinas os Relatórios Parciais a cada seis meses e o Relatório Final de seu projeto, até 30 dias após o seu término.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2029012.pdf	20/10/2022 09:27:46		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	00BrochuraCarolinaFF.pdf	20/10/2022 09:17:03	CAROLINA FERNANDES FRANGETO	Aceito
Outros	08CartaPROPEQ.pdf	20/10/2022 09:15:50	CAROLINA FERNANDES FRANGETO	Aceito
Outros	06TermoAutUsomagameVoz.pdf	20/10/2022 09:13:24	CAROLINA FERNANDES FRANGETO	Aceito
Declaração de concordância	TermodeConsentimentoparatratamentosedadospessoais.pdf	20/10/2022 09:12:17	CAROLINA FERNANDES FRANGETO	Aceito
Declaração de Pesquisadores	DeclaracaoResponsabilidadeCarolina.pdf	20/10/2022 09:12:00	CAROLINA FERNANDES FRANGETO	Aceito
Declaração de Pesquisadores	Declaracao_de_responsabilidade_ProfLia.pdf	20/10/2022 09:11:43	CAROLINA FERNANDES FRANGETO	Aceito
Outros	03RoteiroTestes.pdf	20/10/2022 09:10:46	CAROLINA FERNANDES FRANGETO	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	02TCLE.pdf	20/10/2022 09:09:43	CAROLINA FERNANDES FRANGETO	Aceito



Continuação do Parecer: 5.775.433

Orçamento	04DecCustosRecursos.pdf	20/10/2022 09:09:26	CAROLINA FERNANDES FRANGETO	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	05DecInfraestrutura.pdf	20/10/2022 09:09:12	CAROLINA FERNANDES FRANGETO	Aceito
Cronograma	07CronogramaPesquisa.pdf	20/10/2022 09:08:56	CAROLINA FERNANDES FRANGETO	Aceito
Folha de Rosto	FolhadeRosto.pdf	20/10/2022 09:08:32	CAROLINA FERNANDES FRANGETO	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

CAMPINAS, 24 de Novembro de 2022

Assinado por:
Sérgio Luiz Pinheiro
(Coordenador(a))