

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
COLÉGIO TÉCNICO INDUSTRIAL DE SANTA MARIA  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM REDES DE  
COMPUTADORES

Ricardo de Moura Zago

**TELEMETRIA PARA ROBÔS DE COMBATE**

Santa Maria, RS  
2016

**Ricardo de Moura Zago**

## **TELEMETRIA PARA ROBÔS DE COMBATE**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)  
do Curso Superior de Tecnologia em  
Redes de Computadores, da  
Universidade Federal de Santa Maria  
(UFSM, RS), como requisito parcial  
para obtenção do grau de **Tecnólogo**  
**em Redes de Computadores**.

Orientador: Prof. Dr. Claiton Pereira Colvero

Santa Maria, RS  
2016

**Ricardo de Moura Zago**

## **TELEMETRIA PARA ROBÔS DE COMBATE**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)  
do Curso Superior de Tecnologia em  
Redes de Computadores, da  
Universidade Federal de Santa Maria  
(UFSM, RS), como requisito parcial  
para obtenção do grau de **Tecnólogo**  
**em Redes de Computadores**.

**Aprovado em 5 de julho de 2016:**

---

**Claiton Pereira Colvero, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Viviane Cátia Köhler, Dra. (UFSM)**

---

**Tarcísio Ceolin, Msc. (UFSM)**

Santa Maria, RS  
2016

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho à toda minha família, meus pais Amilton Zago e Zenaide de Moura Zago, meu irmão Roberto de Moura Zago e esposa Fabiana Baptista Goulart pelo apoio incondicional.*

## **AGRADECIMENTOS**

*À Deus pela vida e pela oportunidade de vivenciar mais esse momento.*

*À minha família: meu pai, Amilton Zago, minha mãe Zenaide de Moura Zago meu irmão Roberto de Moura Zago e esposa Fabiana Baptista Goulart pela dedicação e apoio durante todo tempo, mostrando o caminho a seguir, tendo paciência e ajudando a alcançar mais esse objetivo.*

*Ao Colégio Técnico Industrial de Santa Maria (CTISM) e a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) por proporcionar a oportunidade de cursar o ensino superior de forma gratuita e de qualidade.*

*Ao meu orientador e professor Dr. Claiton Pereira Colvero, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube e pelas suas correções e incentivos que foram essenciais para a conclusão deste trabalho.*

*A todos os professores do curso de Tecnologia em Redes de Computadores pelos ensinamentos em todo o decorrer da graduação.*

*E a todos os colegas e amigos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, deixo o meu muito obrigado.*

*“Se não puder voar, corra. Se não puder correr, ande. Se não puder andar, rasteje, mas continue em frente de qualquer jeito.”*

*Martin Luther King*

## RESUMO

### TELEMETRIA PARA ROBÔS DE COMBATE

AUTOR: Ricardo de Moura Zago

ORIENTADOR: Claiton Pereira Colvero

Este trabalho descreve o desenvolvimento de um sistema de telemetria sem fio para robôs de combate através da aquisição dos parâmetros de corrente, tensão e temperatura em tempo real. Estas informações devem auxiliar o piloto durante o combate para aumentar a longevidade do robô em cada *round*. Nos últimos anos, a equipe de robótica do Colégio Técnico Industrial de Santa Maria tem participado de competições entre robôs na modalidade de combate, onde o vencedor é o robô menos danificado e em operação. O sistema de telemetria deve ser capaz de medir os parâmetros sem intervir de forma direta nas funcionalidades do robô, ou seja, em caso de dano no sistema de medição o robô deve continuar funcionando. Para isso foi utilizado a tecnologia de efeito Hall, onde através da medição da corrente em paralelo ao circuito principal são medidos os parâmetros sem a intervenção direta. O efeito Hall tem a capacidade de medir a corrente elétrica através de um campo elétrico gerado em um condutor sem interromper a passagem de corrente. As informações coletadas no robô são enviadas através da tecnologia *Bluetooth* para um dispositivo com o sistema operacional *Android®*, que tem um aplicativo para analisar esta informação e apresentá-la de uma forma intuitiva ao piloto, sinalizando quaisquer problemas que estejam acontecendo. Os recursos do sistema foram amplamente testados em aplicações práticas, e os resultados corresponderam aos esperados no projeto original. O trabalho foi desenvolvido baseado nas referências bibliográficas e na tecnologia desenvolvida no ambiente de testes para a obtenção dos resultados finais.

**Palavras-chave:** *Android®. Robôs. Telemetria. Bluetooth. Sensores.*

## ABSTRACT

### TELEMETRY FOR FIGHTING ROBOTS

AUTHOR: RICARDO DE MOURA ZAGO  
ADVISOR: CLAITON PEREIRA COLVERO

This work describes the development of a wireless telemetry system for fighting robots through the acquisition of the current parameters, real-time pressure and temperature. This information should assist the pilot during combat to increase the longevity of the robot in every round. In recent years, college robotics team the Industrial Technical Santa Maria has participated in competitions between robots in the form of combat, where the winner is the least damaged robot and operation. The telemetry system must be able to measure the parameters without intervening directly in the features of the robot that is in case of damage in the measuring system the robot should continue working. For this purpose we used the technology Hall, where by the current measurement in parallel to the main circuit is measured parameters without direct intervention. The Hall effect is able to measure electric current through an electric field generated in a conductor, where the movement of electrons generates this field by this technique is no need to interrupt the passage of current so that the measurement is made. The information collected on the robot are sent using Bluetooth technology to a device with the Android® operating system, which has an application to analyze this information and present it in an intuitive way the pilot, signaling any issues that are going on. System resources were extensively tested in practical applications, and the results corresponded to those expected in the original design. This study was developed by bibliographic research and technology developed in the testing environment to obtain the final results.

**Keywords:** Android®. Robots. Telemetry. Bluetooth. Sensors.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema Básico de Telemetria.....	18
Figura 2 – Duas piconets formando uma scatternet.....	19
Figura 3 – Transdutores de corrente .....	19
Figura 4 – Exemplo da formação das chaves da competição .....	22
Figura 5 – Robô com lança chamas na competição.....	23
Figura 6 – Batida frontal entre robôs com arma rotativa.....	23
Figura 7 – Sensor de temperatura tipo termistor NTC.....	26
Figura 8 – Curva entre PTC e NTC .....	27
Figura 9 – Divisão de tensão utilizado no termistor.....	28
Figura 10 – Princípio de funcionamento do sensor ACS77X .....	31
Figura 11 – Arduino Nano .....	32
Figura 12 – Camada de protocolos Bluetooth .....	35
Figura 13 – Designer do aplicativo Inventor 2 .....	38
Figura 14 – Blocos do aplicativo Inventor 2.....	38
Figura 14 – Termistor comercial NTC de 10 kΩ utilizado no projeto .....	41
Figura 16 – Modelo de divisor de tensão para o sensor de tensão .....	42
Figura 17 – Diagrama de funcionamento sensor de efeito Hall.....	44
Figura 18 – Sensor de corrente Allegro ACS770 e sua interface .....	44
Figura 19 – Interface de ensaios utilizada com montagem em protoboard .....	45
Figura 20 – Interface de programação do módulo Arduíno .....	46
Figura 21 – Fragmento do código de envio dos dados para o aplicativo .....	47
Figura 22 – Identificação do módulo Bluetooth utilizado .....	48
Figura 23 – Código PIN do módulo Bluetooth .....	48
Figura 24 – Desenvolvimento da interface gráfica do aplicativo.....	49
Figura 25 – Código desenvolvido para o aplicativo de telemetria .....	50
Figura 26 – Aplicativo desenvolvido em operação .....	51
Figura 27 – Danos causados na carcaça por choques mecânicos .....	52
Figura 28 – Danos causados na carcaça devido a armas ativas .....	52
Figura 28 – Proteção desenvolvida em policarbonato para a telemetria .....	53
Figura 30 – Circuito utilizado para aquisição dos parâmetros do robô.....	55
Figura 31 – Circuito para controle da corrente do motor .....	56
Figura 32 – Programação utilizada no Arduino para coleta dos dados .....	57
Figura 33 – Resultados obtidos através do terminal do software .....	58
Figura 34 – Curva de calibração do sensor de corrente ACS770 .....	59
Figura 35 – Tela de usuário do sistema de telemetria em operação.....	61

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Valores correspondentes de temperatura do termistor utilizado .... 60

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
CTISM	Colégio Técnico Industrial De Santa Maria
KO	<i>knockout</i>
MIT	<i>Institute of Technology</i>
RF	Radiofrequênciа
FHSS	<i>Frequency-Hopping Spread Spectrum</i>
HIGH	(Tensão) alta
LOW	(Tensão) Baixa
Vcc	Tensão Continua
Vca	Tensão Alternada
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Continua
DDP	Diferença de Potencial
NTC	<i>Negative Temperature Coefficient</i>
PTC	<i>Positive Temperature Coefficient</i>
WPAN	<i>Wireless Personal Area Network</i>
TDD	<i>Time Division Duplex</i>
ISM	<i>Industrial Scientific and Medical</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
OHA	<i>Open Handset Alliance</i>
PIN	<i>Personal Identification Number</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	13
1.1.	OBJETIVOS	15
1.1.1.	Objetivo Geral	15
1.1.2.	Objetivos Específicos	15
1.2.	JUSTIFICATIVA	16
1.3.	ESTRUTURA DO TRABALHO	17
<b>2.</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	18
2.1.	COMPETIÇÃO DE ROBÔS	20
2.1.1.	Categorias e regras	20
2.1.2.	Ambiente Hostil	22
2.1.3.	Requisitos de Medição e Confiabilidade	24
2.1.4.	Medição de Temperatura	25
2.1.5.	Medição de Tensão	28
2.1.6.	Medição de corrente	29
2.1.6.1.	Efeito Hall	30
2.2.	AQUISIÇÃO DE DADOS	32
2.2.1.	Módulo Microprocessado Arduíno	32
2.2.2.	Módulos para Arduíno	33
2.3.	COMUNICAÇÃO DE DADOS	33
2.3.1.	Tecnologia de Comunicação <i>Bluetooth</i>	34
2.3.2.	Segurança da Rede	36
2.4.	APLICATIVO	37
2.4.1.	Linguagens e Programadores	37
<b>3.</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	39
3.1.	SENSOR DE TEMPERATURA	40
3.2.	SENSOR DE TENSÃO	41
3.3.	SENSOR DE CORRENTE	42
3.4.	AQUISIÇÃO DE DADOS	44
3.4.1.	Interface de Programação do Arduíno	45
3.4.2.	Comunicação <i>Bluetooth</i>	46
3.4.3.	Segurança da Rede	47
3.5.	APLICATIVO	49
3.6.	PROTEÇÃO MECÂNICA	51
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	54
4.1.	ENSAIOS EM LABORATÓRIO	54
4.1.1.	Calibração das Curvas dos Sensores	58
4.1.2.	Ensaios com o Aplicativo	60
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	62
5.1.	TRABALHOS FUTUROS	63
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	64

## 1. INTRODUÇÃO

Competições atuais de robótica tem se tornado cada vez mais comuns nos dias atuais, sendo incentivadas principalmente por universidades de todo o Brasil e no mundo, onde essas atividades já vêm sendo desenvolvidas a mais tempo, tanto por instituições de ensino como pelo meio privado. É de conhecimento que para trabalhar na área de desenvolvimento de dispositivos de robótica são necessários muitos investimentos como tempo, em pesquisas, em conhecimentos e experiências, em capital, e várias outras áreas, como mecânica, elétrica, eletrônica e computação. Por esse motivo, tem-se notado um aumento considerável no incentivo à participação e desenvolvimento na área de robótica nos principais centros de estudos como universidades, escolas e até mesmo empresas, que estimulam seus funcionários a estudarem e realizarem implementações de soluções nesta área.

No Colégio Técnico Industrial de Santa Maria (CTISM), os alunos têm a oportunidade e estímulo de participar de competições de robótica. Essas competições têm por finalidade o combater entre outros robôs dentro de uma arena, onde através de regras pré-estabelecidas resulta um vencedor. Os alunos tem a possibilidade de envolver com a parte mecânica, elétrica, eletrônica, montagem e construção dos robôs, sempre orientados por professores das áreas correlacionadas ao projeto.

A cada competição que passa as equipes se aperfeiçoam com novas técnicas e novas tecnologias empregadas nos robôs, e com esse intuito esse trabalho foi desenvolvido para que seja possível o monitoramento de alguns parâmetros de extrema importância para o funcionamento do robô, que são as correntes elétricas dos motores e eletrônicas, as tensões de controle e operação e as temperaturas dos principais dispositivos que estão sendo utilizados, como motores, eletrônica e baterias. Estes parâmetros informam ao piloto do robô qual a situação interna do funcionamento do mesmo em tempo real, e assim conhecendo esses parâmetros, ele tem a possibilidade de tomar decisões de forma correta para que não haja uma parada total do robô por dano, fazendo a equipe perder o *round* por falha mecânica ou elétrica.

A telemetria representa um conceito em que se obtém informações de um determinado lugar para se enviar para outro ponto remoto onde será

realizada a análise destas informações. Com esse conceito de monitoramento, os parâmetros citados anteriormente do robô são monitorados e enviados para um *smartphone* com sistema operacional Android®, onde tornará disponível ao piloto essas informações de forma simples e direta.

Utilizando um dispositivo Arduino interligado com os sensores de corrente, tensão, temperatura e um módulo adicional *Bluetooth* para a conexão remota e sem fio deste sistema, é possível receber os dados relevantes à operação do robô diretamente no *smartphone* do piloto. Juntamente com esse sistema de monitoramento desenvolvido foi necessário também desenvolver formas de proteção mecânica em tudo, uma vez que o ambiente em que o robô estará dentro da arena é extremamente hostil, pois os oponentes usam diversas armas para o combate, como lança chamas, ferramentas de corte, batidas violentas, entre outras, fazendo com que o uso de técnicas de telemetria industrial seja empregada, assim protegendo o sistema de danos.

Outro desafio foi desenvolver o sistema de telemetria de forma que se houver algum dano ao mesmo, o robô não seja afetado. A função da coleta das informações é para auxiliar o piloto na tomada de decisões, e de forma alguma deverá afetar o funcionamento do robô em caso de parada. Por esse motivo, para a medição de corrente, por exemplo, foi utilizada a técnica do efeito Hall dos materiais condutores, técnica essa que não influencia de forma direta a operação do robô. Com a utilização desta técnica está sendo coletada a passagem de corrente de forma paralela a corrente do robô, e se caso houver algum dano no sistema de aquisição a corrente continuará passando normalmente para o robô.

Durante a pesquisa para definir qual a técnica que seria usada para não interferir no funcionamento do robô, a técnica de efeito Hall se demonstrou eficiente, pois através da diferença de potencial gerada no condutor pelo movimento dos elétrons, e um campo magnético empregado na transversal desse campo, pode-se obter o valor da corrente em tempo real.

Todos os circuitos foram cuidadosamente implementados para a realização dos experimentos práticos em laboratório, e demonstraram grande eficácia na aquisição e transferência das informações para o piloto, que analisava os dados diretamente em seu *smartphone*.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi o desenvolvimento de um sistema de telemetria seguro para a aquisição de parâmetros de corrente, tensão e temperatura dos componentes essenciais de operação de um robô de competição durante as batalhas em uma arena, visando aumentar consideravelmente a expectativa de durabilidade e funcionalidade do equipamento.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

- Desenvolver uma interface de coleta dos parâmetros internos do robô que opere em condições de extrema severidade e influência de campos eletromagnéticos;
- Desenvolver um sistema de coleta de informações e apresentação simplificada de conteúdo direcionado ao piloto e assistente em plataforma Android;
- Estudar a tecnologia *Bluetooth* para a utilização na comunicação de dados entre o robô dentro da arena e sistema de controle e apresentação dos parâmetros;
- Desenvolver uma blindagem contra armas do tipo lança chamas, mas que não interfira na comunicação de dados sem fio;
- Promover a comunicação automática dos dispositivos com o console que processa as informações e demonstra ao piloto e assistente;
- Desenvolver interfaces de coleta de dados que possam trabalhar com grandezas muito elevadas de forma totalmente invasiva e independente da operação do robô, para que em caso de falhas não comprometa a utilização do mesmo;
- Implementar o sistema desenvolvido no robô Bagual da GaudérioBotz do CTISM que compete na categoria *Featherweight* de 13,6 kg, para utilização na

aquisição de dados de telemetria durante a XII *Winter Challenge* no Instituto de Tecnologia Mauá, em São Caetano do Sul - SP.

## 1.2.JUSTIFICATIVA

Nos últimos anos a equipe GaudérioBotz da UFSM vem participando de eventos de competição de robôs, onde na modalidade de combate, o objetivo é a destruição do oponente dentro de uma arena fechada. A alta competitividade dos participantes, as modernas tecnologias e materiais empregados, assim como a utilização dos recursos dos robôs ao limite extremo, representam um grande potencial de apresentar defeitos não perceptíveis aos pilotos antes da parada total, incorrendo em desclassificação por *knockout* (K.O.).

Os principais problemas apresentados durante uma batalha, com algumas exceções de quebras mecânicas por impactos e quedas, são sinalizados previamente por sobrecorrentes, quedas de tensão e variações bruscas de temperatura em pontos específicos. Com o acesso a estas informações em tempo real, o piloto pode tomar algumas decisões para poupar determinados recursos ou até mesmo prever quebras, como controlar determinadas manobras ou ataques mais incisivos, e desta forma, evitar a parada total do robô.

A telemetria é a tecnologia escolhida para este projeto porque consiste em monitorar, medir e rastrear informações de um determinado equipamento, e instantaneamente enviar estas informações para outro local remoto, onde possam ser interpretados e analisados. Modernas técnicas de telemetria industrial têm sido desenvolvidas com intuito de reduzir custos, garantir o funcionamento em condições críticas do ambiente e fornecer o rápido *feedback* de parâmetros selecionados para o monitoramento.

Neste trabalho está sendo descrita a montagem de uma rede de telemetria sem fio que foi desenvolvida especificamente para controlar os parâmetros de corrente, tensão e temperatura em diferentes componentes selecionados no robô de combate Bagual da equipe GaudérioBotz. Visando a economia de recursos de implementação e a facilidade de operação, foi definida a tecnologia *Bluetooth* para troca de informações, integrada com um

aplicativo em plataforma Android® para visualização e análise dos dados adquiridos em tempo real.

Da mesma forma, também estão sendo demonstradas as técnicas de montagem dos sensores para aquisição dos dados, assim como as blindagens necessárias para garantir o bom funcionamento no ambiente extremamente agressivo da arena, como interferências, choques mecânicos, vibrações e chamas lançadas por oponentes.

Como principais impactos obtidos através do desenvolvimento deste projeto destacam-se a aplicação prática dos conhecimentos adquiridos em sala de aula, a integração dos mesmos com outras instituições de ensino de renome nacional, o estímulo para o desenvolvimento de habilidades específicas em mecânica, eletrônica, programação, telecomunicações, entre outras, a solução de problemas com recursos limitados, a competitividade em ambientes saudáveis de aprendizado e a importância do trabalho colaborativo em equipe.

### 1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

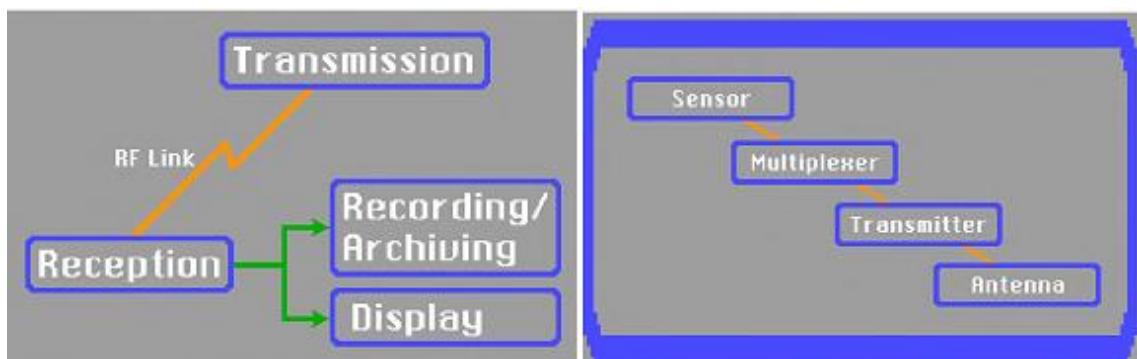
Como estrutura de apresentação das atividades e resultados obtidos no desenvolvimento deste projeto foi realizada uma descrição detalhada, devidamente organizada em capítulos, com uma breve introdução, os objetivos e o referencial teórico (Capítulos 1 e 2), uma narrativa dos recursos, tecnologias e implementações utilizadas no Capítulo 3 (Materiais e métodos), e concluindo a documentação foram apresentados os resultados obtidos (Capítulo 4), assim como conclusão com as devidas sugestões para trabalhos futuros (Capítulo 5).

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Mattos (2004), a palavra telemetria vem da junção de duas palavras gregas que significam “tele” (longe) e “meter” (medir). A telemetria surgiu da necessidade de se obter informações de lugares remotos e de difícil acesso. O sistema de telemetria é composto basicamente por quatro partes distintas, sendo elas os sensores que capturam informações necessárias, um módulo transmissor, geralmente baseado em radiofrequência, um módulo receptor para receber as informações e um sistema que vai processar, analisar e tornar disponível ao administrador do sistema.

Na Figura 1 pode-se observar a demonstração de forma simples um sistema de telemetria, onde na esquerda ela demonstra a parte da transmissão da informação, o recebimento, a análise e a gravação, e após a visualização. No quadro da direita observam-se os quatro módulos o sensor de captura das informações, o transmissor e o receptor.

Figura 1 – Sistema Básico de Telemetria

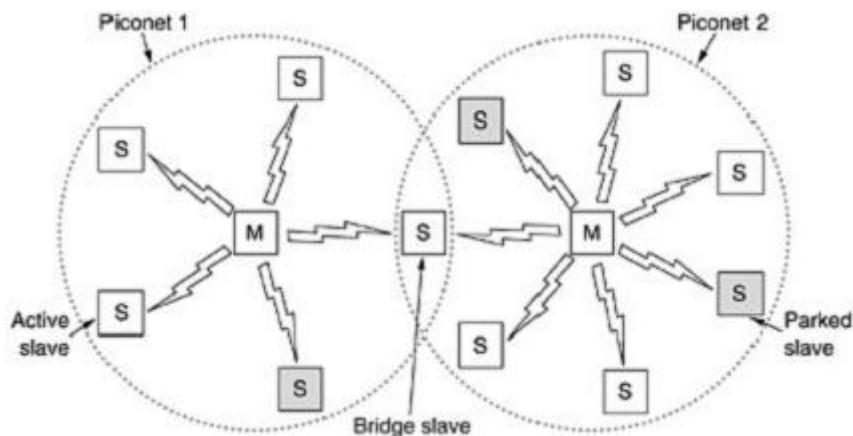


Fonte: MATTOS (2004)

Segundo Tanenbaum (2003), em um sistema *Bluetooth*, uma *piconet* é um nó que possui um dispositivo mestre com no máximo sete escravos ativos, em uma distância de até 10 m de cobertura. Podem existir em um mesmo ambiente várias *piconets*, e podem ser conectadas por um nó de ponte. Quando ocorre esse tipo de situação é chamado de *scatternet*, ou seja, uma série de *piconets* interligadas. Na Figura 2 pode-se observar um exemplo desta

configuração, onde existe um grupo interconectado de *piconets*, sendo chamada de *scatternet*.

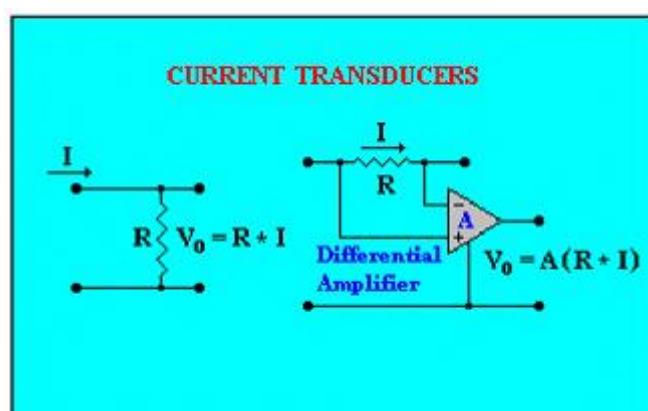
Figura 2 – Duas *piconets* formando uma *scatternet*



Fonte: TANEMBAUM (2003)

Ainda segundo Mattos (2004), sensores e transdutores são dispositivos capazes de medir parâmetros físicos e gerar um sinal elétrico. O nome sensor indica a capacidade de ler um parâmetro gerar um sinal elétrico, já no caso do transdutor, gera uma alteração no parâmetro elétrico, em geral na tensão, equivalente a mudança do parâmetro físico posteriormente. A Figura 3 demonstra a diferença de potencial aplicada em um transdutor.

Figura 3 – Transdutores de corrente



Fonte: MATTOS (2004)

## 2.1. COMPETIÇÃO DE ROBÔS

Conforme Meggiolaro (2006), no que tange a história de competições de robôs, o que há documentado oficialmente como precursora é uma competição realizada no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) desde 1970, entre os alunos que cursavam as disciplinas 2.007, sendo o 007 a matéria relacionada ao curso, e 2 significando o curso de engenharia mecânica.

O principal objetivo dessa competição é estimular os alunos a implementarem em prática os conhecimentos adquiridos em sala de aula. Estes conhecimentos abrangem diretamente as áreas da mecânica, elétrica, eletrônica, automação, controle, programação, entre outras, pois os alunos devem desenvolver suas atividades em compostos de materiais, soldas, parte elétrica, desenvolvimento de algoritmos, entre outros conhecimentos. Da mesma forma também são empregados conhecimentos de forma implícita, como cálculo, física entre outros.

Nestas competições em que ocorrem combates entre os robôs, eles são exclusivamente controlados por um rádio em frequências específicas (RF), onde o piloto controla o mesmo de fora da arena, embora também existam competições de robôs autômatos, onde não se precisa da intervenção direta.

Todas as equipes trabalham no desenvolvimento de seus robôs com o objetivo de neutralizar o adversário dentro da arena, e desta forma fazendo com que pare por completo. Nas competições as equipes utilizam das mais variadas formas de tecnologias e equipamentos para tal objetivo. Robôs equipados com lança chamas, armas rotativas, blindagem espeça, etc., são utilizadas para tentar de alguma forma parar o oponente, como batidas fortes um contra o outro, tentando virar o outro de cabeça para baixo, ou até mesmo levando o oponente ao desgaste total dos recursos, fazendo com que ele fique parado por completo.

### 2.1.1. Categorias e regras

Conforme o website de uma das maiores equipes de robótica nacional, a Uairrior (<http://uairrior.com.br/ps/guerra-de-robos.pdf>), nestas competições a

batalha é organizada por categorias de acordo com as características dos robôs, que variam desde o tamanho, peso e armas utilizadas pelas equipes. O mais importante dessa categorização é tornar as batalhas na arena de igual para igual, sendo que nenhum robô deve possuir vantagem sobre o outro de forma ilícita ou não competitiva. As classes divididas por peso em que se enquadraram os robôs são:

- *Fairyweight* (150g)
- *Antweight* (1lb – 454g)
- *Beetleweight* (3lb – 1,360g)
- *Hobbyweight* (12lb – 5,5kg)
- *Featherweight* (30lb – 13,7kg)
- *Lightweight* (60lb – 27,2kg)
- *Middleweight* (120lb – 54,4kg)
- *Heavyweight* (220lb – 99,8kg)

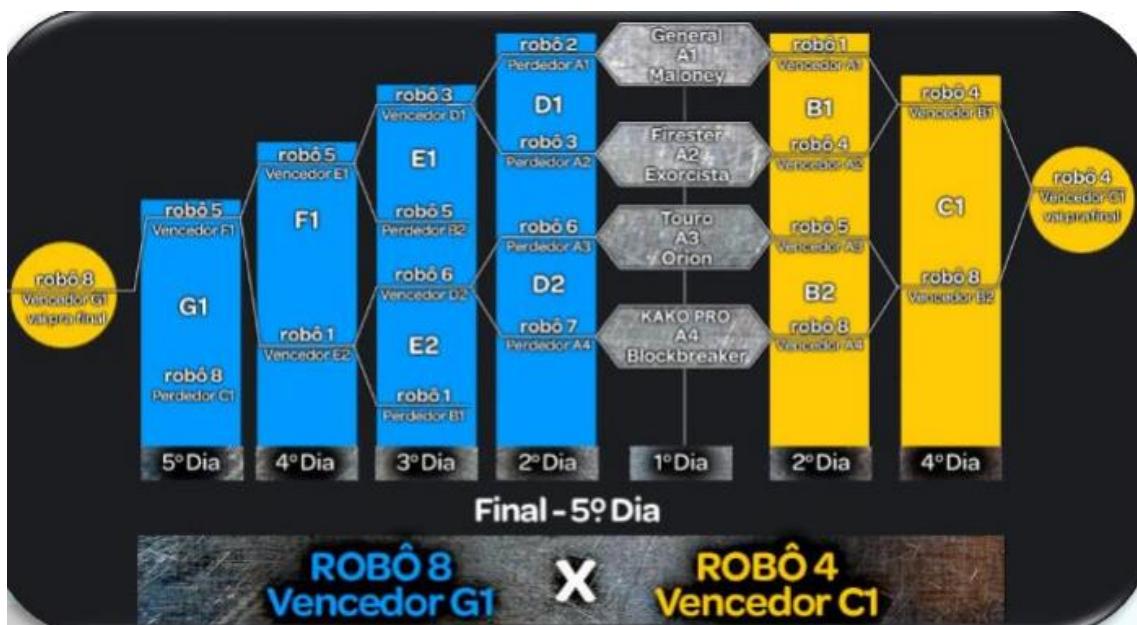
As regras da competição são baseadas em um padrão justo para todos, formada por sorteios dos robôs para composição de uma chave dupla. Isto ajuda em caso de derrota, pois se o robô perder uma vez ele ainda pode sair campeão. Retornando a chave dos vencedores na final. Se o robô perder ele vai para chave dos perdedores, sendo campeão o robô que alcançar a final invicto.

A luta dura até a parada total de um dos robôs dentro da arena ou uma luta inteira de três minutos, onde a decisão é definida pela pontuação.

A pontuação é atribuída de duas formas, agressividade (com 7 pontos), onde leva-se em consideração quantas vezes o robô acata o adversário. Já o quesito dano vale 6 pontos, e é atribuído quando o outro robô ficou danificado pelas investidas do oponente. Os danos são caracterizados por trivial, cosmético, menor, maior e dano massivo. Na Figura 4 pode-se observar um exemplo das chaves utilizadas na competição de robôs. Na primeira chave, dos ganhadores, só permanecem aqueles robôs que não perderam nenhuma batalha durante todo o evento. Quando ocorre de um robô perder uma batalha na arena, ele automaticamente é rebaixado para a chave dos perdedores, mas

continua na competição, lutando apenas com outros robôs que também já perderam uma batalha no mesmo evento. Quando um dos robôs perde uma batalha na chave dos perdedores, ele é excluído da competição e sua colocação é referente aos outros desclassificados. Na luta final, é organizada uma batalha entre o campeão da chave dos ganhadores, que ainda está invicto, com o ganhador da chave dos perdedores. Se o robô que subiu na chave dos ganhadores eliminar o outro, ele automaticamente é declarado o campeão, mas se o robô que subiu pela chave dos perdedores ganhar a final, é realizada mais uma luta entre eles, valendo a final.

Figura 4 – Exemplo da formação das chaves da competição



Fonte: <http://uairrior.com.br/ps/guerra-de-robos.pdf>.

### 2.1.2. Ambiente Hostil

Segundo a revista Galileu, sobre o campeonato UFC de robôs, a arena de combate onde os robôs se encontram é um ambiente extremamente hostil, e vários são os motivos, como o uso de lança chamas pelas equipes, o uso de armas, a alta temperatura do ambiente, choques entre os robôs, etc.

Para contornar esses requisitos de um ambiente altamente hostil são necessárias soluções mais resistentes para os componentes usados no robô,

ou soluções adicionais que protejam melhor as partes mais sensíveis do mesmo, como a parte eletrônica e de controle do robô. A Figura 5 demonstra um robô usando seu lança-chamas contra seu adversário na arena. Esta chama pelas regras da competição, deve ser originada exclusivamente por fluido gasoso, como por exemplo, o butano, que pode gerar temperaturas superiores a 2000°C.

Figura 5 – Robô com lança-chamas na competição



Fonte: <http://revistagalileu.globo.com>.

A Figura 6 demonstra uma batida entre dois robôs dentro da arena, onde a arma ativa rotativa de um deles perfura e arremessa o oponente para o alto.

Figura 6 – Batida frontal entre robôs com arma rotativa



Fonte: <http://redeglobo.globo.com/>.

### 2.1.3. Requisitos de Medição e Confiabilidade

Um dos principais requisitos deste projeto para que o mesmo fosse implementável na prática durante a competição dos robôs, é que em caso de falha no dispositivo de telemetria, este não possa causar uma interrupção da operação do robô, causando uma desclassificação por *knockout* (K.O.). É de conhecimento que para a medição de uma determinada corrente elétrica em corrente contínua, a forma mais tradicional de medição é através da interrupção do circuito para a passagem dentro do dispositivo de medida. Em caso de falha deste dispositivo, o circuito é interrompido e não há circulação da corrente.

Conforme Pinto (2010), durante a passagem de uma corrente elétrica em um material condutor, gera-se sobre ele um campo elétrico pelas cargas estacionárias que é chamada de efeito Hall, onde a movimentação dos elétrons livres estabelece a possível quantidade de corrente que está passando pelo condutor. Dessa forma é possível medir corrente sem precisar interromper o circuito, medindo apenas seu campo elétrico.

Kurose (2010) afirma que a tecnologia *Bluetooth* opera no padrão da IEEE 802.15.1, onde se utiliza de uma faixa mais curta, um custo menor e uma potência mais baixa. Eles operam na faixa de 2,4 GHz, onde muda de canal no intervalo de tempo de 625 microssegundos, isso quer dizer que a cada tempo o canal muda pseudoaleatoriamente. Essa variação auxilia caso o sistema sofra interferência de outros dispositivos na recepção das informações. Esta técnica de mudança de canais de forma dinâmica é chamada de *Frequency-Hopping Spread Spectrum* (FHSS).

Segundo Mattos (2004), a medição dos parâmetros desejados deve ser realizada por sensores ou transdutores, os quais tem a função de captar as informações, e neste projeto através do transmissor *Bluetooth* enviar as informações para o receptor. Sensores podem ser classificados em transdutores também, já que é possível transformar a energia recebida em outra. Os sensores podem ser classificados basicamente de duas formas. Analógicos que são mais simples, não se limitando a duas grandezas, mas assumem muitos outros valores de forma contínua. Os digitais que indicam

níveis de tensão alto (“high”) ou baixo (“low”). Por segurança, alto geralmente trabalha em 5V e baixo em 0V.

Após realizadas as medições dos parâmetros pelos sensores instalados no robô, o modulo do *Bluetooth* é utilizado para enviar as informações para um aplicativo que torna visível esses dados coletados. Nesse caso, como se está trabalhando com informações em tempo real, e essa é umas das principais características da telemetria, o *Bluetooth* que se encontra no *smartphone* faz o pareamento com o módulo de aquisição, assim trocando informações entre si.

De uma forma mais detalhada, as diferentes medições e tecnologias utilizadas neste projeto serão analisadas em separado, tornando o entendimento mais direto e objetivo.

#### **2.1.4. Medição de Temperatura**

Segundo Carneiro (2009), hoje em dia existem alguns modelos de sensores que podem ser empregados nas mais diversas áreas, onde alguns dos mais utilizados descritos de forma mais detalhada a seguir.

**Termistores** – São dispositivos transdutores de temperatura sensíveis termicamente e compostos por semicondutores. São recomendados para medição em lugares como motores e fornos. Devido as suas características construtivas, ele possui uma resistência interna que varia de acordo com a exposição a diferentes temperaturas de medição. Existem dois tipos de termistores, que são os PTC, onde a resistência interna varia proporcionalmente com a temperatura, e o NTC, onde a resistência interna varia de forma inversamente proporcional a variação de temperatura. Para este projeto foi definida a utilização deste segundo modelo de termistor devido à sua característica mais linear para temperaturas mais altas.

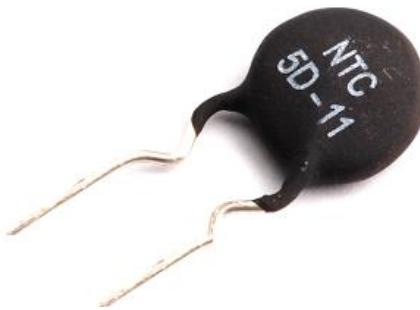
**Termopares** – São dispositivos utilizados na medição de temperatura através de dois metais unidos, gerando uma tensão em relação a variação da temperatura. São utilizados metais que possuem valores previsíveis.

**Pirômetro** – São sensores que não precisam de contato para realizar a medição, e são recomendados para serem utilizados em ambientes com

temperaturas acima de 600°C. Pirômetros digitais são comumente usados em medições de temperatura proveniente da queima de combustível.

Conforme Patsko (2006), o termistor é um sensor que se destina a medição de temperaturas de uma forma simples e direta, sendo um dos mais utilizados em diferentes áreas. Na Figura 7 pode-se observar um termistor do tipo NTC com resistência interna de 5 kΩ em 24°C.

Figura 7 – Sensor de temperatura tipo termistor NTC



Fonte: <http://www.homemade-circuits.com/>.

Conforme descrito na apostila de Coelho (2016), os sensores podem ser divididos segundo os modos de medição de temperatura em duas formas, contato direto e indireto. No primeiro grupo de contato direto tem-se as seguintes formas de medição:

- Termômetro à dilatação – para líquidos e sólidos
- Termômetro à pressão – para líquido, de gás, de vapor
- Termômetro à par termoelétrico
- Termômetro à resistência elétrica

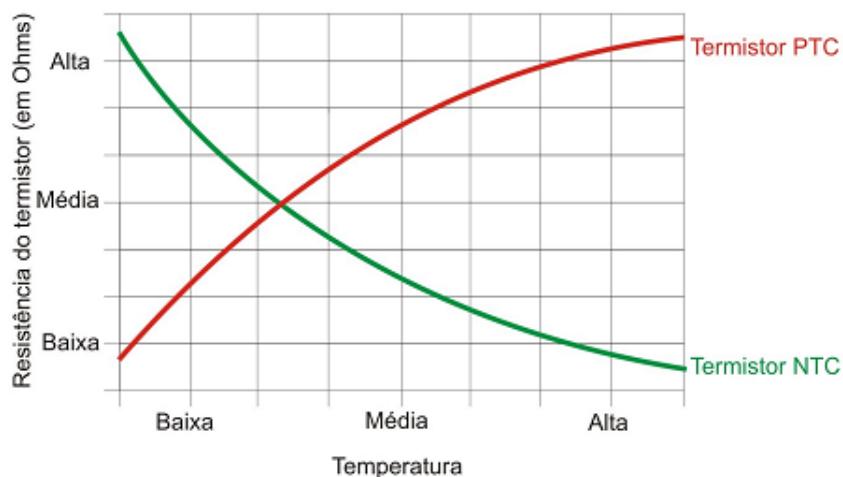
No segundo grupo de contato indireto tem-se:

- Pirômetro óptico
- Pirômetro fotoelétrico
- Pirômetro de radiação

Conforme Patsko (2006), em relação ao tipo de termistor, existem dois tipos, o NTC (*Negative Temperature Coefficient*) e o PTC (*Positive*

*Temperature Coefficient*). O primeiro deles funciona em resposta inversa de acordo com a variação da temperatura que está medindo. Geralmente são mais comuns e baratos, pois são feitos de materiais semicondutores. O segundo deles é proporcional a variação da temperatura, ou seja, a resistência interna aumenta conforme a temperatura aumenta. Esse termistor é mais caro se comparando ao NTC, pois o material de fabricação é mais complexo. Na Figura 8 está sendo apresentada uma curva para análise de dois termistores, sendo um PTC e NTC, onde pode-se verificar a sua variação da resistência interna em virtude da variação da temperatura.

Figura 8 – Curva entre PTC e NTC



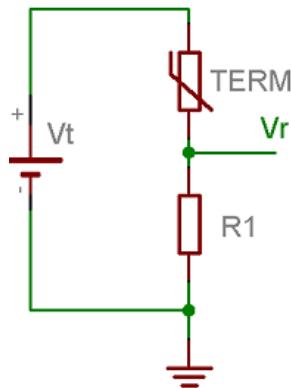
Fonte: PATSKO (2006)

Para realizar a medição com um termistor de forma correta é necessária a utilização de um circuito de adaptação, chamado popularmente de divisor de tensão. Com a utilização deste circuito a tensão resultante será a própria temperatura ambiente quando não estiver realizando uma medição, isso porque a resistência do termistor e do circuito divisor está relacionada diretamente com a temperatura do ambiente.

Na Figura 9 pode-se verificar como o termistor deve ser conectado ao circuito divisor de tensão. Os valores dos resistores podem ser modificados se for necessário diminuir ou aumentar a impedância total do circuito, desde que a relação entre eles permaneça a mesma. Pode-se observar também que o

termistor está ligado antes do resistor, e dessa forma a saída do divisor de tensão será em torno a metade do valor da alimentação, para um caso onde o valor de  $R_1$  é equivalente a resistência interna do termistor.

Figura 9 – Divisão de tensão utilizado no termistor



Fonte: PATSKO (2006)

### 2.1.5. Medição de Tensão

Segundo Thomazini (2014) para se medir uma tensão, tem-se primeiramente que conhecer se ela é tensão contínua ( $V_{cc}$ ) ou tensão alternada ( $V_{ca}$ ). Para medir uma tensão contínua  $V_{cc}$ , um dos métodos mais utilizados é um divisor de tensão, onde a tensão a ser medida é ligada nos terminais de dois resistores em série para ajuste dos níveis, a captura da tensão de amostragem é realizada na saída de um dos resistores. Para realizar a medição de uma tensão alternada  $V_{ca}$ , o mais indicado é o transformador de potencial. Esse dispositivo tem por definição de saída uma tensão compatível com o circuito de medição e aquisição dos dados. O uso de transformadores de baixa potência é uma forma simples de coletar uma amostra da tensão no secundário do mesmo de forma proporcional a tensão a ser monitorada. Além da vantagem da adequação dos níveis de tensão de forma direta e linear neste caso, o transformador também oferece a grande vantagem de fornecer uma isolacão elétrica entre os terminais de entrada e saída, tornando a medição muito mais segura para os usuários e o próprio circuito de aquisição.

Segundo Belchior (2014), um voltímetro também tem por finalidade medir a diferença de potencial entre quaisquer pontos do circuito. Para isso pode-se utilizar um voltímetro de corrente alternada CA ou corrente continua tradicional CC.

### 2.1.6. Medição de corrente

Medir a corrente neste projeto é essencial já que ela determina como encontra-se a operação de todos os sistemas do robô. Uma corrente muito alta geralmente é sinal de problemas elétricos ou mecânicos, pois ela é incrementada à medida que os circuitos possuem resistências as suas operações normais. Esse aumento súbito da corrente, que em operação normal pode chegar aos 150A, demonstra problemas eminentes como peso excessivo em algum trem de tração, defeitos elétricos ou eletrônicos, ou danos nos motores, o que pode bloquear de uma hora para outra o robô dentro da arena de combate. Outro agravante do excesso de corrente, é que ela geralmente é transformada totalmente em calor por efeito Joule, piorando as condições do ambiente interno do robô.

Segundo Thomazini (2014), a corrente elétrica é a ordenação dos elétrons em um determinado material não dielétrico, e esta ordenação se dá devido a diferença de potencial (ddp) entre os terminais em que o circuito está conectado. De forma geral, isso acontece porque se houverem dois pontos A e B conectados eletricamente, a carga negativa deverá ser atraída pela carga positiva, e desta forma irá ocasionar essa movimentação de elétrons.

Ainda Thomazini (2014) afirma que o amperímetro é responsável pela medição da corrente em um circuito ou em parte dele, e para que essa medição corresponda com a melhor exatidão e sem aquecer durante o processo, é necessário não haver uma resistência interna muito alta. Amperímetros comerciais medem tanto CA como CC, mas necessitam interromper o circuito para que haja a passagem da corrente pelo interior do dispositivo de medição.

Segundo Belchior (2014), para medições de corrente elevada usa-se o *shunt* resistivo, que usa uma resistência de manganina conectada em série ao circuito, sendo que para obter a corrente basta medir a tensão resultante.

Todos esses sistemas de medição exigem que o circuito seja interrompido, o que pode trazer muita fragilidade na utilização neste projeto, uma vez que a falha no sensor vai interromper a corrente do robô. Para contornar esse problema, modernas técnicas de medição podem ser implementadas, como por exemplo por efeito Hall, que mede a corrente através de um campo induzido pela sua passagem por um material metálico condutivo.

#### 2.1.6.1. Efeito *Hall*

Segundo Thomazini (2014), os sensores que utilizam a técnica de efeito Hall para medição de corrente são compostos por materiais semicondutores sensíveis a influência de um campo magnético. A corrente que passa através de um condutor no interior do sensor gera de forma perpendicular a este um campo magnético induzido. Esse fenômeno faz com que nas laterais do condutor seja gerada uma diferença de potencial equivalente (Lei de Lorentz). Com esta técnica pode-se medir a diferença de potencial e estimar a corrente.

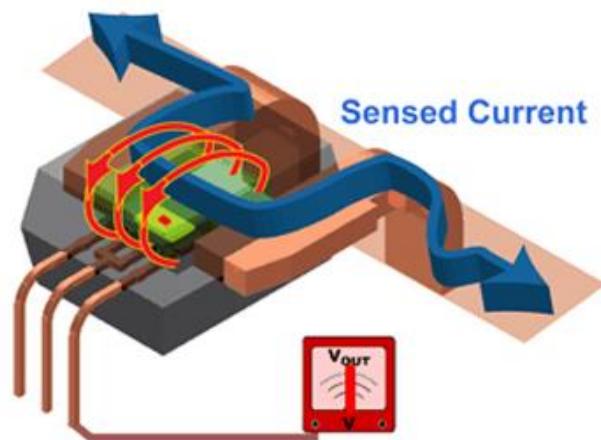
Dentro de soluções comerciais, existe a família de semicondutores de medição de corrente elétrica por efeito *Hall* da Allegro™, conhecido pelo modelo ACS770. Estes sensores fornecem boas soluções, de baixo custo e precisas, para detecção e medição de correntes AC ou DC. Suas aplicações mais típicas incluem monitorar a corrente em controles de motores, detecção de carga e de gestão, alimentação e controle de conversores DC-DC, de controles de inversores de tensão, e detecção de falhas por sobrecorrentes.

O dispositivo baseia-se na medição com precisão da corrente que circula por ele, respondendo através de um circuito linear, de baixa resistência interna com um condutor de cobre resistente para a passagem da corrente. De uma forma geral, esta corrente que é aplicada nos terminais de cobre reforçados flui através deste caminho e gera um campo magnético induzido na passagem, que é concentrado por um núcleo magnético de baixa histerese. Em seguida esse campo é convertido pelo efeito *Hall* em uma tensão proporcional à corrente circulante. A precisão do dispositivo é definida pela proximidade do condutor de cobre, que gera o sinal magnético ao transdutor *Hall*. Adicionalmente estes dispositivos também oferecem uma compensação das variações de temperatura de operação, o que melhora de forma considerável a precisão em diferentes

ambientes de utilização. Este recurso se faz necessário neste projeto porque deve-se levar em consideração que o ambiente é muito hostil.

A saída de tensão do dispositivo apresenta uma inclinação positiva quando percebe um aumento da corrente que flui através do circuito de condução de cobre primário, que é o caminho utilizado para amostragem de corrente. A resistência interna deste caminho condutor é de aproximadamente  $100 \mu\Omega$ , proporcionando baixa perda potência e praticamente nenhum aquecimento pela passagem de corrente. Na Figura 10 pode-se observar o diagrama de funcionamento do sensor de corrente ACS77X, onde o condutor de cobre primário é responsável por deixar circular a corrente, e o campo magnético induzido ao transdutor *Hall* está demonstrado nas setas vermelhas que circulam ao redor do mesmo.

Figura 10 – Princípio de funcionamento do sensor ACS77X



Fonte: <https://www.sslltd.com>.

A espessura elevada, assim como a pureza do cobre utilizado no condutor de corrente principal permite a sobrevivência do dispositivo mesmo em condições de altas correntes circulantes. Os terminais do caminho eletricamente condutor do dispositivo são totalmente isolados dos condutores de sinal, proporcionando grande segurança na utilização para as mais diferentes tensões de entrada. Essa característica permite que estes dispositivos sensores possam ser utilizados em aplicações que requerem o

isolamento elétrico total, sem a utilização de opto-isoladores ou outras técnicas de isolamento dispendiosos.

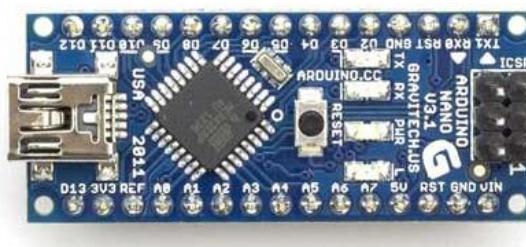
## 2.2. AQUISIÇÃO DE DADOS

Segundo Mattos (2004), um sistema de aquisição de dados é responsável por medir os parâmetros necessários como elétrico ou físico através de sensores. Mas para esses sensores possam se comunicar é preciso de um barramento que interligue os mesmos com o controle. Também é preciso que esse sistema de aquisição de dados seja programável, isso porque há necessidade de ajustes em alguns parâmetros a serem medidos. Neste trabalho foi utilizado o Arduino como sistema de aquisição de dados, pois ele fará essa interligação dos sensores juntamente com a programação do circuito.

### 2.2.1. Módulo Microprocessado Arduíno

Segundo Gaier (2011), o Arduino é uma plataforma “*open source*”, muito usada para o desenvolvimento de projetos acadêmicos. O Arduino é tanto *hardware* como *software*, pois ao se trabalhar com ele é preciso operar como o *hardware* para interligar os componentes, e como o *software* para realizar a programação. Essa necessidade se justifica porque é preciso programar a operação de todos os dispositivos interligados no Arduino. A programação é realizada baseada em linguagem C de uma forma mais simples. A figura 11 apresenta um módulo Arduino Nano utilizado neste projeto de telemetria.

Figura 11 – Arduino Nano



Fonte: <http://www.arduino.cc>.

### 2.2.2. Módulos para Arduíno

Embora o módulo microprocessado Arduino seja uma plataforma de aquisição de dados completa, ele requer que as interfaces com os sistemas externos sejam definidas de acordo com as especificações de cada aplicação. De uma forma geral, ele possui diversas capacidades de aquisição, atuação e tratamentos dos dados que passam por suas portas de interface, mas estas só estão aptas a receber ou transmitir os dados que estiverem dentro de uma faixa admissível pelo próprio módulo. Desta forma, como neste projeto está sendo proposto o monitoramento de grande de tensões e correntes muito além das suportadas pelas portas I/O dos módulos, é necessária a utilização de outros módulos adicionais para esta finalidade. Também é importante observar que a comunicação dos dados com dispositivos externos é realizada por uma interface seria com fio, o que não é adequado para utilização em sistemas de telemetria.

Segundo o website da distribuidora de componentes FSB Eletrônicos (<http://www.fsbeletronica.com.br>), o Arduino suporta diversos módulos para incrementar sua conectividade, onde pode-se agregar os módulos de sensor de corrente e tensão, os sensores de temperatura, e um modulo *Bluetooth* para estabelecer comunicação sem fio usada na telemetria. Neste trabalho foi utilizado um módulo de corrente da fabricante Allegro modelo ACS 770, que utiliza efeito *Hall* para sua medição, um termistor NTC de 10 k $\Omega$  como sensor de temperatura, um divisor de tensão resistivo para a medição da tensão de alimentação, e um modulo *Bluetooth* HC-06 para comunicação com o *smartphone* que possui o aplicativo de apresentação dos dados.

## 2.3. COMUNICAÇÃO DE DADOS

Segundo Forouzen (2008), o que efetivamente caracteriza uma comunicação de dados é a troca de informações entre dois dispositivos, por um meio transmissão, seja esse por intermédio de cabos ou sem fio. O sistema de comunicação de dados é integrado por duas partes, sendo um *hardware* e um *software*, que muitas vezes é embarcado. Esse sistema de comunicação de dados pode-se observar alguns parâmetros que são considerados muito importantes para o sucesso do enlace:

- Entrega dos dados, que se encarrega de garantir a transferência da informação ao dispositivo correto, e somente a este.
- Integridade dos dados, onde o sistema precisa entregar de forma correta as informações, fora isso são inúteis.
- Sincronização dos dados, pois é preciso que seja entrega no momento certo, um pacote fora da ordem ou muito atrasado não serve para nada.
- *Jitter* que se refere a variação do tempo para chegada dos pacotes, sua importância se justifica para garantir o sincronismo exato dos dados.

Neste projeto, a comunicação do módulo Arduíno de coleta dos dados, que está dentro do robô durante a competição, deve ser realizada em tempo real. Como este módulo permite apenas a conexão cabeada e serial para esta função, foi implementada uma rede sem fio com tecnologia de comunicação *Bluetooth* para atender aos requisitos do trabalho.

### 2.3.1. Tecnologia de Comunicação *Bluetooth*

A implementação de uma rede sem fio neste projeto se tornou necessária no momento em que a telemetria corresponde ao monitoramento dos parâmetros internos do robô em tempo real, o que seria impossível de implementar com redes cabeadas dentro da arena de combate.

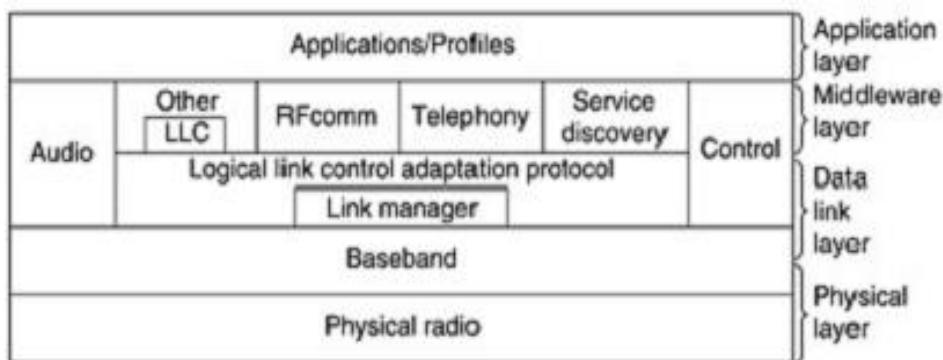
Conforme Martincoski (2003), a tecnologia de comunicações *Bluetooth* é a forma em que é chamada a universalização de redes para curto alcance WPAN. Essa nova forma de comunicação foi desenvolvida em conjunto por diversas empresas, com o intuito de unificar a comunicação de curto alcance entre diversos dispositivos. O grande objetivo do *Bluetooth* é a diminuição de uso de cabos para interligar os dispositivos, tendo como desafios dessa tecnologia baixar o consumo de energia, observando que a potência do sinal seria menor pelo fato do seu alcance reduzido, assim como baixar também o preço de comercialização pelo uso em larga escala.

Segundo Rappaport (2009), a frequência de operação do *Bluetooth* está dentro da faixa de frequência livre chamada de ISM, entre 2,4 GHz a 2,4835 GHz, onde cada canal do rádio usa o esquema de salto em frequência TDD. Cada canal do *Bluetooth* utiliza uma banda de frequência de 1 MHz, e realiza

saltos entre as frequências em uma taxa de aproximadamente 1.600 saltos por segundo e 625 microssegundos de troca por *slot* em pacote transmitido.

Segundo Tanembaum (2003), a estrutura de camadas de protocolos do *Bluetooth* contém inúmeros protocolos espalhados livremente entre as camadas, e essas estruturas de camadas não seguem nenhum padrão estabelecido ou conhecido pela IEEE. A camada inferior corresponde a camada física do rádio, responsável pela modulação e transmissão do sinal. A camada de banda base é quem controla os *slots* de tempo entre o mestre e o escravo, e também nesses *slots* os quadros são agrupados. A camada de *middleware* é uma mistura dos mais diferentes protocolos e, possui a função de descoberta de serviços e facilitação de comunicação entre tecnologias mais antigas. As aplicações se localizam nessa camada, onde cada aplicação tem sua definição de utilização dos protocolos anteriores. A Figura 12 representa o modelo de camadas dos protocolos do *Bluetooth*, onde pode-se observar a presença da camada física do rádio, a camada banda base e a camada de *middleware*.

Figura 12 – Camada de protocolos *Bluetooth*



Fonte: TANEMBAUM (2003)

Atualmente o padrão de comunicações *Bluetooth* está divido em três classes de acordo com seus avanços tecnológicos e as aplicações específicas, sendo definidas como:

- Classe 1: potência máxima de 100 mW (miliwatts), alcance de até 100 metros;
- Classe 2: potência máxima de 2,5 mW, alcance de até 10 metros;

- Classe 3: potência máxima de 1 mW, alcance de até 1 metro.

O módulo utilizado no projeto se enquadra na classe 2 desta divisão, onde possui um alcance de 10 metros de raio de cobertura, segundo as informações do fabricante, modelo HC-06 - JY-MCU. Essa escolha se baseia nas dimensões da própria arena e a posição em que o *smartphone* de controle deve estar cobrindo com eficiência toda a área de batalha e não causando interferência consideráveis com outros sistemas de comunicação que operam na faixa ISM.

### 2.3.2. Segurança da Rede

Embora a transferência das informações de telemetria do robô não seja de interesse direto para as outras equipes, é importante observar que se forem coletadas pelos oponentes, elas podem direcionar a luta de acordo com os parâmetros obtidos. De uma forma geral, os dados coletados não fazem sentido algum para alguém que intercepte os dados, sem que ele conheça os modelos de sensores e as devidas tabelas de conversão das informações, além do pequeno alcance de 10 metros, que restringe apenas ao entorno da arena.

Segundo Tanembaum (2003), em uma rede de um sistema de comunicações *Bluetooth* pode-se ter níveis de segurança desde a camada física. Esta afirmação refere-se aos saltos que ocorrem entre os canais dentro de uma *piconet*, pois isso de forma simples ajuda a não estacionar por muito tempo em apenas um canal. Outro quesito de segurança são as chaves de passagem, onde esse método pode funcionar na verificação de um conjunto de números decimais. Para estabelecer uma autenticação, é definido antes o canal usado e após isso negociam para saber se o canal será criptografado, desta forma apresentando a sua integridade controlada. Neste trabalho foi utilizada a troca de chaves entre os dispositivos para estabelecer a autenticação entre eles, onde o módulo *Bluetooth* gera essa senha e disponibiliza para o usuário, desta forma permitindo que o mesmo tenha o acesso aos dados de forma correta. A própria área de cobertura do sistema também já oferece boa segurança para a transferência dos dados, pois restringe o acesso pela distância, sendo também proibido gerar interferências destrutivas.

## 2.4. APPLICATIVO

Segundo Silva (2015), a plataforma Android foi desenvolvida pela Google para ser utilizada em dispositivos móveis. Hoje ela é mantida pela *Open Handset Alliance* (OHA). O Android é o sistema operacional especialmente desenvolvido para dispositivos *mobile*, com em um *smartphone*, onde torna possível o usuário interagir diretamente com os recursos do equipamento, não se limitando a apenas este modelo de dispositivo. Essa plataforma foi desenvolvida com base na linguagem Java, sendo concebida no modelo de *open source*, e mantida por um grupo de mais de 84 empresas que são responsáveis pela melhoria a atualizações da plataforma.

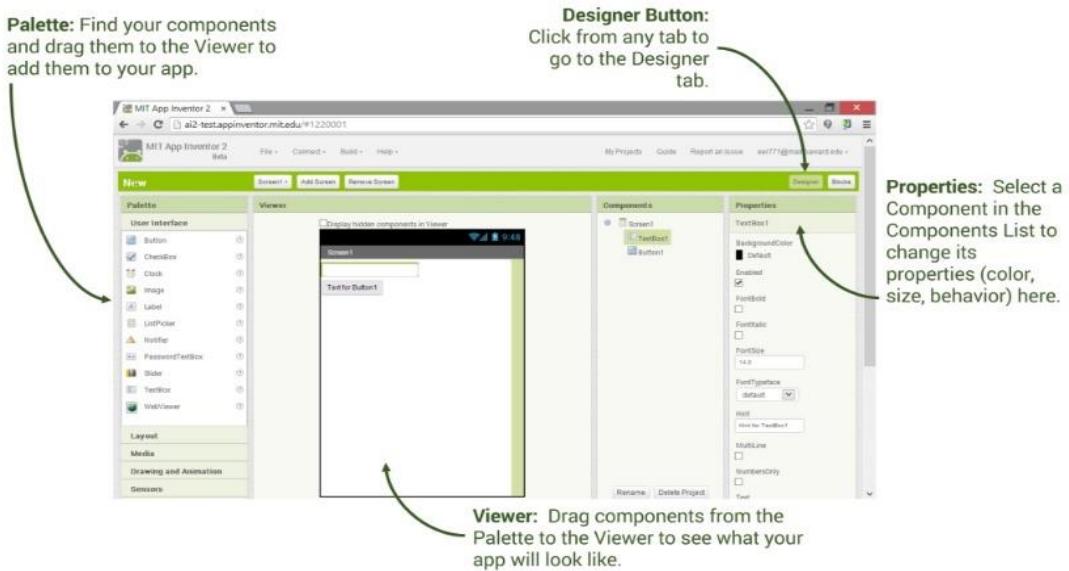
O aplicativo é um programa desenvolvido para funcionar junto ao Android®, não sendo possível a operação correta do mesmo fora da plataforma. O intuito do aplicativo no projeto é tornar possível a interpretação fácil e correta das informações obtidas pelo sistema de telemetria e o usuário.

### 2.4.1. Linguagens de Programação do Arduino

Para o desenvolvimento do aplicativo de interpretação dos dados foram utilizadas ferramentas de programação que servem de interface intuitiva entre o programador e a própria linguagem de desenvolvimento. Para esse projeto foram definidos como requisitos de programação que o aplicativo deverá conectar-se ao *Bluetooth* do sistema de telemetria de forma simples e rápida, que o sistema deve informar o usuário no caso do *Bluetooth* estar desconectado em uma das unidades, ele deve manter-se conectado durante toda a batalha de robôs, e por último, prover o mínimo de segurança na comunicação para evitar que os dados sejam compartilhados por usuários não autorizados.

De acordo com o website do desenvolvedor (<http://appinventor.mit.edu/>), o APP *Inventor 2* é uma ferramenta de desenvolvimento de aplicativos *web* baseada na nuvem, ou seja, um ambiente de desenvolvimento *web* com possibilidade de programar e testar um aplicativo pelo próprio *site* da ferramenta. Na Figura 13 pode-se observar o ambiente de desenvolvimento do aplicativo e suas duas interfaces, a primeira onde é montado o *layout* do aplicativo, onde o desenvolvedor irá estruturar a interface do aplicativo.

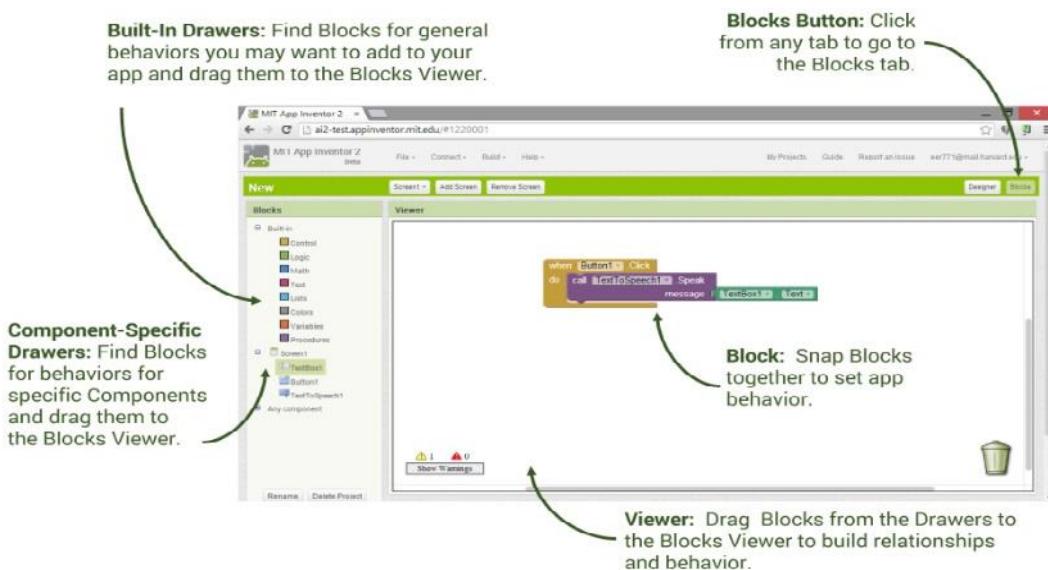
Figura 13 – Designer do aplicativo *Inventor 2*



Fonte: <http://appinventor.mit.edu/explore/designer-blocks.html>.

A segunda parte do desenvolvimento do aplicativo consiste na programação em blocos, ou seja, conforme a necessidade de desenvolver a lógica e as funcionalidades do aplicativo deve-se arrastar os blocos com as funções descritas nos blocos. A Figura 14 demonstra essa estrutura do ambiente de desenvolvimento em blocos do APP *Inventor 2*.

Figura 14 – Blocos do aplicativo *Inventor 2*



Fonte: <http://appinventor.mit.edu/explore/designer-blocks.html>.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Conforme o que foi definido no escopo do projeto inicial, o trabalho foi separado em três partes distintas para uma melhor organização do tempo e recursos empregados no desenvolvimento. Inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre as tecnologias e métodos que foram empregados, posteriormente foi realizado o desenvolvimento do projeto apresentando como foi executado, e concomitante com este desenvolvimento, também foram realizados os ensaios e a análise dos resultados obtidos no projeto.

O capítulo que tange a pesquisa bibliográfica foi desenvolvido e estudado em cima de conceitos tecnológicos fundamentados e propostos por autores renomados e com vasta experiência no campo acadêmico e científico. Terminado essa etapa de pesquisa de quais os métodos deveriam ser empregados para o desenvolvimento do trabalho, foi definido que o sistema de telemetria seria composto basicamente por quatro partes, os sensores que se encarregam de obter as informações passantes pelo circuito, o modulo *Bluetooth* que tem a função de transmitir as informações para um terminal remoto, o *smarthphone* como receptor do sinal, que também possui seu modulo *Bluetooth* que irá parear com o modulo da interface de aquisição, e o aplicativo desenvolvido para Android que possui entre outras a função de analisar e armazenar as informações recebidas, tornando-as dados de fácil compreensão e consistentes para o piloto do robô.

Como o projeto trata na sua maior parte sobre o desenvolvimento físico de um *hardware*, com implementação do circuito que analisa os parâmetros importantes definidos pelo projeto, foi desenvolvido uma metodologia baseada em as etapas para contextualizar a problematização e fornecer uma base tecnológica para o desenvolvimento do projeto.

Em um segundo momento, foram adquiridos todos os recursos de *hardware* para execução do projeto e o desenvolvimento do sistema de telemetria. Juntamente com essa etapa também foi realizado o desenvolvimento do aplicativo para armazenamento e visualização dos dados recebidos pelo *smarthphone*, que fornece condições em tempo real ao piloto para serem tomadas decisões mais assertivas em relação ao comportamento do robô na arena e prolongar sua vida útil.

Na terceira e última etapa foram realizados os ensaios em laboratório com o objetivo de testar o funcionamento do circuito e suas medições, onde também foram realizados testes de transmissão das informações coletas pelo circuito. Da mesma forma ainda foram testadas as funcionalidades do aplicativo desenvolvido para a visualização das informações obtidas.

### 3.1. SENSOR DE TEMPERATURA

Conforme foi descrito no capítulo anterior, monitorar o aumento da temperatura dos componentes essenciais do robô, como sua eletrônica de potência, motores, baterias, entre outros, pode auxiliar na longevidade do mesmo no ambiente da batalha através da previsão de possíveis problemas futuros. Por exemplo, a importância da medição de temperatura no motor é extremamente relevante, pois se o mesmo começar a elevar sua temperatura, os danos são eminentes, podendo danificar a maioria dos componentes existentes no motor. Ainda neste conceito, nota-se que a rápida elevação da temperatura de um dos motores pode indicar problemas correlatos, como por exemplo peso excessivo em mancais. Com base nestas informações, o piloto irá procurar poupar os recursos dependentes deste motor até que o mesmo baixe sua temperatura, evitando a queima e a parada parcial do robô dentro da arena.

É importante observar que dentro da arena de combate pode-se ter um excesso de aquecimento pelo trabalho gerado no motor, assim ocasionando esse aquecimento interno, ou até mesmo o oponente utilizando um lança chamas diretamente sobre o robô, mas independente dos fatores que geram esse aquecimento, eles são importantes para a avaliação do piloto e seu assistente, que tomarão as decisões mais adequadas de acordo com o que está sendo visualizado durante a batalha.

Para entender melhor as formas de medições de temperatura citadas na revisão bibliográfica, foi utilizado e testado um termistor NTC, que é mais simples de utilizar e mais barato. No caso do NTC ele diminui sua resistência conforme aumenta a temperatura. No circuito montado para medição do parâmetro de temperatura, ele foi utilizado em paralelo com um resistor, e ligado a um pino analógico do módulo Arduino, isso porque existe a

necessidade de medir a variação destes valores em uma escala contínua e não apenas valores altos ou baixos como os pinos digitais. As principais características do termistor utilizado estão descritas a seguir:

- Modelo – NTC - MF52AT
- Resistência interna – 10 kΩ @ 24°C
- Dimensões – 3 mm
- Detecção de variação de temperatura - - 70°C até + 250°C.

A Figura 14 demonstra o modelo de termistor utilizado no circuito.

Figura 15 – Termistor comercial NTC de 10 kΩ utilizado no projeto



Fonte: Próprio Autor.

Na imagem pode-se observar que o termistor escolhido possui dimensões muito pequenas, especialmente para este projeto, que deve monitorar a temperatura em locais de difícil acesso, além de não agregar muito peso extra ao conjunto, mesmo com vários pontos de coleta de temperatura. Como a tensão da bateria do robô Bagual é de 22,2 Vcc, foi utilizado este termistor sobre um limitador de níveis, através de um resistor em série de 120 Ohms, que reduziu a tensão máxima para valores de até 5 Vcc, de acordo com a capacidade das portas de entrada do módulo Arduino utilizado.

### 3.2. SENSOR DE TENSÃO

Como também foi mencionado anteriormente na pesquisa bibliográfica para definir os conceitos de sensores utilizados neste trabalho, a tensão corresponde basicamente a medição da diferença de potencial em dois pontos do circuito, considerando um deles com nível de aterramento do sistema.

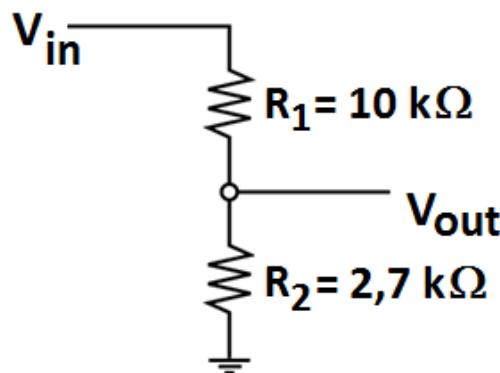
Medir um nível de corrente elevado no sistema sem ter uma noção dos níveis de tensão aplicados não equivale necessariamente a ser um problema

no circuito, pois como ele corresponde a mesma carga, uma tensão baixa de entrada pode elevar os níveis de correntes, mas sem afetar de forma significativa o aquecimento dos componentes, uma vez que a potência dissipada se mantém constante pela Lei de Ohm, que afirma que a potência é dada pela multiplicação da tensão aplicada pela corrente circulante no circuito.

Conforme observado nas pesquisas realizadas, para se obter um nível de tensão compatível com as portas de entrada do Arduíno, foi necessário utilizar um artifício de queda de tensão para corrente contínua  $V_{cc}$ , conhecido por divisor de tensão. Neste modelo utilizado pelo projeto foram implementados dois resistores ligados em série, onde é possível medir a tensão equivalente rebaixada na relação dos resistores. Com a tensão de saída do sistema corresponde a 22,2 Vcc, e a capacidade das portas do Arduíno são de apenas 5 Vcc, foi utilizada uma relação de aproximadamente 1/4 entre os resistores. Para o valor de  $R_1$  de 10 k $\Omega$ , foi utilizado para  $R_2$  o valor de 2,7 k $\Omega$ .

A Figura 16 demonstra o divisor de tensão como foi utilizado no circuito.

Figura 16 – Modelo de divisor de tensão para o sensor de tensão



Fonte: Próprio Autor.

### 3.3. SENSOR DE CORRENTE

Um dos parâmetros mais importantes para a aquisição neste projeto é a corrente de operação, que varia de forma constante e representa na maioria das vezes exatamente o *status* de operação do robô, uma vez que o mesmo

opera por baterias e motores elétricos de alta performance. O sensor de corrente selecionado para o uso neste projeto é baseado no efeito *Hall*, onde pode-se medir a corrente circulante no sistema sem necessitar interromper o circuito. Através desta funcionalidade, instalado diretamente no barramento de corrente de cada motor utilizado, este sensor permite que seja monitorada qualquer variação de corrente, seja de sobrecarga ou de curto-círcuito. Com o uso deste dispositivo é possível medir os níveis de corrente através da indução de um campo magnético sobre um condutor metálico interno, onde quanto maior for a corrente, maior será o campo induzido.

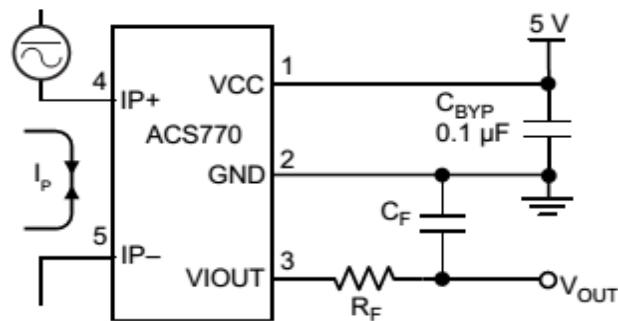
Com o uso das propriedades físicas do efeito *Hall* pode-se monitorar a corrente de um circuito em operação de forma segura, sem interromper a passagem de corrente. Evitando essa interrupção, foi definido um caminho alternativo em paralelo ao condutor principal de passagem da corrente, onde foi realizado a medição a partir desse ponto, para posterior análise dos valores obtidos na passagem da corrente pelo sensor. Dessa forma foi possível conseguir realizar a medição das grandezas de corrente de forma segura.

O sensor utilizado neste projeto para a medição de corrente foi da família Allegro, modelo ACS 770 LCB. Conforme a indicação do próprio fabricante ele é indicado para medição em motores, controle de inversores entre outras aplicações. Esse sensor também trabalha com corrente continua ou alternada. Suas principais características de operação e limitações são:

- Tipo de sensor – Efeito *Hall*
- Medição – Mede corrente continua e alternada
- Detecção de corrente – 100 A
- Sensibilidade – 20 mV / A
- Temperatura de operação - - 40°C a + 150°C
- Polaridade – Bidirecional

A Figura 17 apresenta o diagrama demonstra o diagrama tipo de operação do sensor ACS 770 utilizado neste projeto, onde pode-se observar que existe um barramento apenas para a circulação de corrente, até 100A indiferente da tensão aplicada, e depois outros terminais de menor capacidade, onde o sinal do sensor é disponibilizado ao módulo Arduino.

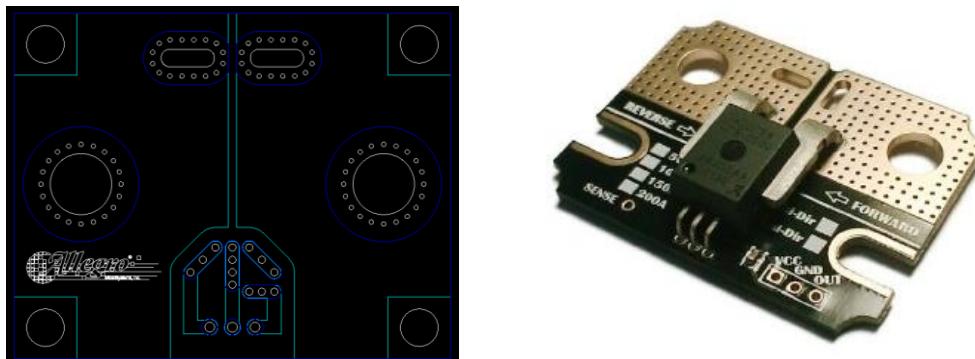
Figura 17 – Diagrama de funcionamento sensor de efeito Hall



Fonte: Datasheet ACS770xCB.

A Figura 18 apresenta o projeto da placa de circuito impresso que foi desenvolvida para a montagem do sensor de corrente ACS 770, assim com um modelo pronto para a operação deste sensor.

Figura 18 – Sensor de corrente Allegro ACS770 e sua interface



Fonte: Datasheet ACS770xCB.

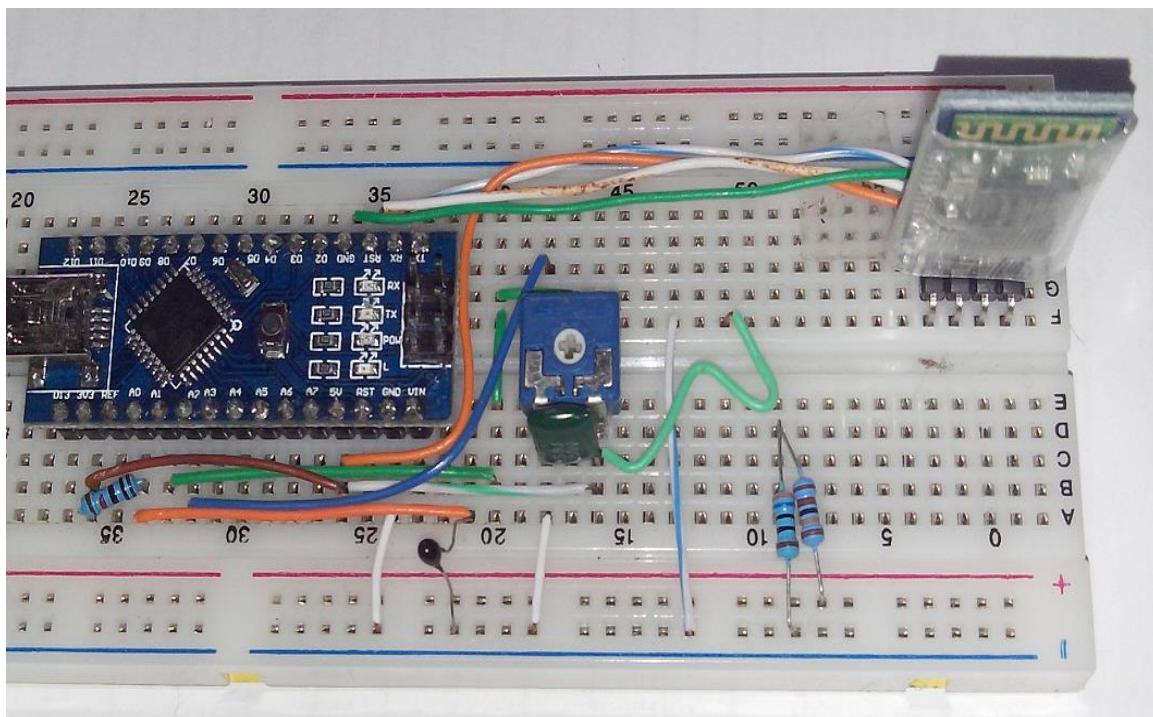
### 3.4. AQUISIÇÃO DE DADOS

Para aquisição de dados no interior do robô foi utilizado um módulo Arduino Nano, que é responsável pela interligação de todos os dispositivos que compõem o sistema de telemetria. Este módulo foi utilizado por possuir a capacidade de integrar de forma física e lógica todos os sensores e o dispositivo de comunicações sem fio, tornando o sistema de telemetria

compacto, com baixo peso e alta confiabilidade, independente de sofrer alguma pane durante a utilização.

Neste módulo Arduino foram conectados os sensores de corrente, os sensores de temperatura e os sensores de tensão, assim como o módulo *Bluetooth*. Na Figura 19 pode-se observar essa montagem para os ensaios em laboratório, ainda no *protoboard* para a realização dos testes iniciais.

Figura 19 – Interface de ensaios utilizada com montagem em *protoboard*



Fonte: Próprio Autor.

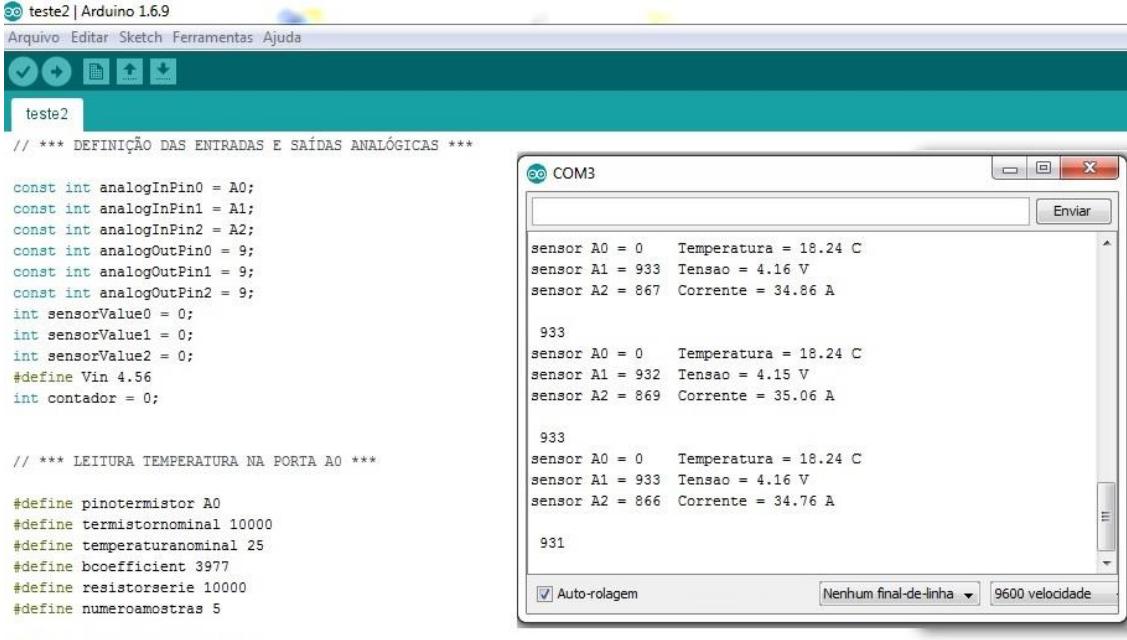
### 3.4.1. Interface de Programação do Arduíno

Como o módulo Arduino corresponde a um microprocessador, que pode ser adicionado um certo nível de automação através de rotinas básicas, se torna necessária a utilização de uma interface de programação própria do mesmo. Esta interface de programação fornece as ferramentas básicas de acesso e gravação de dados no módulo Arduino. Com as suas funcionalidades foi possível definir quais são as definições de cada porta I/O do mesmo, definindo elas como entrada de dados analógica. Também foi utilizado essa

interface para definir a comunicação com o dispositivo remoto de visualização dos dados coletados, onde foi utilizado um módulo adicional no padrão *Bluetooth*.

A interface que está sendo apresentada na Figura 20 é um exemplo da forma como o módulo Arduino foi configurado para este projeto, onde as informações dos dados em cada porta podem ser visualizadas em um terminal. Esta interface de programação do módulo Arduino pode ser obtida de forma gratuita no *website* do fabricante (<http://www.arduino.cc>), sendo que sua instalação é realizada de forma simples e direta.

Figura 20 – Interface de programação do módulo Arduíno



The image shows the Arduino IDE interface. The top bar has the title 'teste2 | Arduino 1.6.9' and menu items: Arquivo, Editar, Sketch, Ferramentas, Ajuda. Below the menu is a toolbar with icons for file operations. The main area shows the code for 'teste2':

```

// *** DEFINIÇÃO DAS ENTRADAS E SAÍDAS ANALÓGICAS ***
const int analogInPin0 = A0;
const int analogInPin1 = A1;
const int analogInPin2 = A2;
const int analogOutPin0 = 9;
const int analogOutPin1 = 9;
const int analogOutPin2 = 9;
int sensorValue0 = 0;
int sensorValue1 = 0;
int sensorValue2 = 0;
#define Vin 4.56
int contador = 0;

// *** LEITURA TEMPERATURA NA PORTA A0 ***
#define pinotermistor A0
#define termistornominal 10000
#define temperaturanominal 25
#define bcoefficient 3977
#define resistorserie 10000
#define numeroamostras 5

int amostra[numeroamostras];
int i;

```

To the right of the code is a serial monitor window titled 'COM3' with the port 'COM3' selected. The window shows the following data:

```

sensor A0 = 0 Temperatura = 18.24 C
sensor A1 = 933 Tensao = 4.16 V
sensor A2 = 867 Corrente = 34.86 A

933
sensor A0 = 0 Temperatura = 18.24 C
sensor A1 = 932 Tensao = 4.15 V
sensor A2 = 869 Corrente = 35.06 A

933
sensor A0 = 0 Temperatura = 18.24 C
sensor A1 = 933 Tensao = 4.16 V
sensor A2 = 866 Corrente = 34.76 A

931

```

The serial monitor also shows settings at the bottom: 'Auto-rolagem' checked, 'Nenhum final-de-linha' dropdown, and '9600 velocidade'.

Fonte: Próprio Autor.

### 3.4.2. Comunicação *Bluetooth*

A comunicação entre os dispositivos utilizados neste projeto foi realizada através de um modulo *Bluetooth* HC-06, sendo este ligado diretamente na porta serial do sistema de aquisição, com a função de transmitir os dados coletados em tempo real, para o smartphone do piloto do robô.

Esta comunicação é realizada de forma simples e transparente quando o módulo é padronizado, apenas necessitando o direcionamento no código para que a comunicação seja enviada para o mesmo. Como este módulo de comunicação *Bluetooth* não faz parte dos componentes internos do Arduino, para a operação correta é necessário realizar a configuração dos parâmetros do mesmo. Na Figura 21 pode-se observar um fragmento do código do Arduino onde foram criadas as rotinas de direcionamento das comunicações para a rede sem fio do *Bluetooth*. Esta comunicação é necessária porque o módulo possui apenas uma porta série conectada com cabos, o que seria inviável de implementar este projeto de telemetria dentro da arena de competição.

Figura 21 – Fragmento do código de envio dos dados para o aplicativo

```
//Envia as informacoes
int valor_pot;
valor_pot = corrente2;
valor_pot = analogRead(analogOutPin2);
Serial.write(202);
Serial.write(highByte(valor_pot));
Serial.write(lowByte(valor_pot));

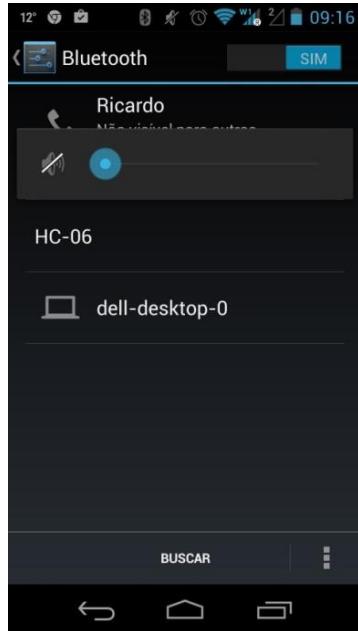
delay(50);
```

Fonte: Próprio Autor.

### 3.4.3. Segurança da Rede

Embora a segurança da rede não seja um dos fatores limitantes deste projeto, é interessante utilizar alguma ferramenta de controle de acesso as informações para garantir uma melhor privacidade. O módulo no padrão *Bluetooth* vem de fábrica com um código de segurança chamado de PIN, sendo necessário para estabelecer uma conexão. Durante a identificação do pareamento dos dispositivos ele apresenta o dispositivo e solicita o código, que deve ser informado para o fechamento do enlace de forma segura, evitando que usuários não cadastrado possam acessar o sistema. Na Figura 22 está sendo demonstrada a identificação do dispositivo *Bluetooth* utilizado.

Figura 22 – Identificação do módulo *Bluetooth* utilizado



Fonte: Próprio Autor.

Na Figura 23 é demonstrada a solicitação do código PIN de verificação para poder realizar o pareamento entre os módulos *Bluetooth*.

Figura 23 – Código PIN do módulo *Bluetooth*



Fonte: Próprio Autor.

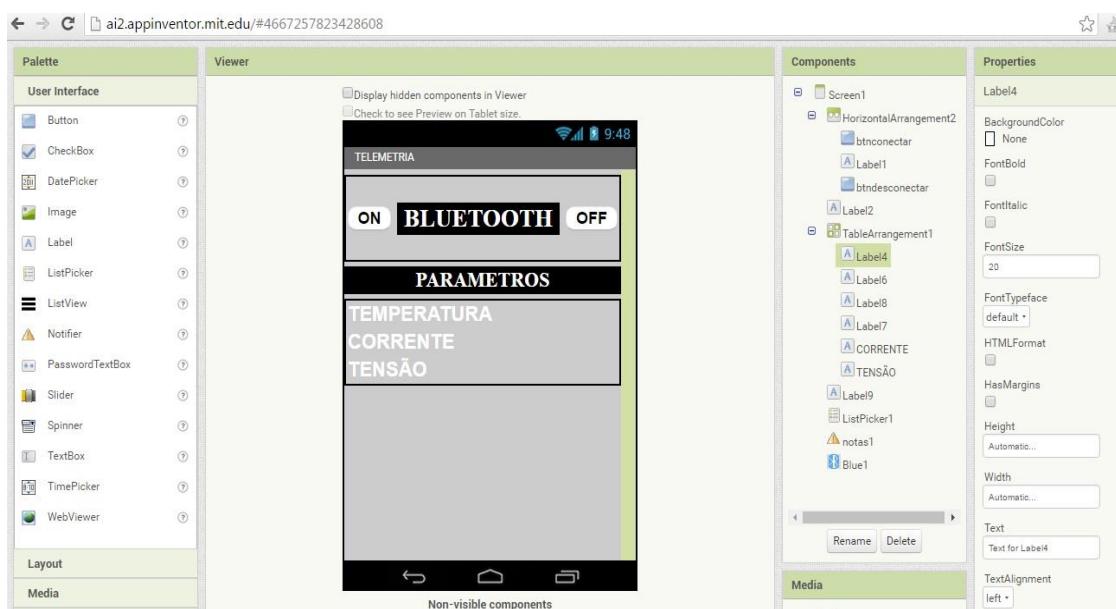
### 3.5. APPLICATIVO

O aplicativo deste projeto foi desenvolvido com o objetivo de possibilitar a visualização dos dados de forma simples e intuitiva ao piloto, para que ele tenha um rápido *feedback* dos parâmetros de operação do robô e possa tomar decisões sobre alguns procedimentos para aumentar a longevidade dentro da arena.

A função principal do aplicativo é se conectar ao dispositivo de coleta de dados que está dentro do robô em operação, que também já deve estar pareado com o *smarthphone* do piloto. Adicionalmente ele deve sinalizar imediatamente caso não esteja ativado o *Bluetooth* em algum ponto e mostrar as informações recebidas de forma direta.

O aplicativo foi totalmente desenvolvido no ambiente virtual do MIT, como documentado anteriormente, onde foi criada a interface gráfica e depois a parte da programação do código do aplicativo. Para a instalação do aplicativo no *smarthphone* o ambiente de programação gera um código que possibilita o *download* do arquivo, onde é possível instalar diretamente no *smarthphone*. Uma vez instalado, basta executar o aplicativo. Na figura 24 é possível visualizar a interface de criação do aplicativo no ambiente virtual do MIT.

Figura 24 – Desenvolvimento da interface gráfica do aplicativo



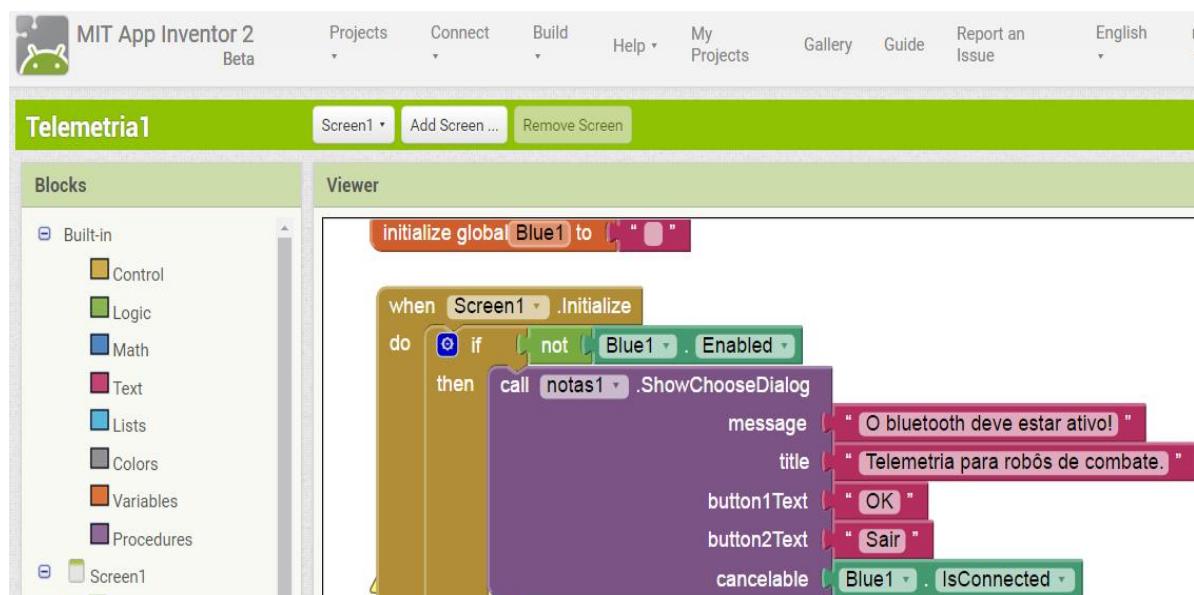
Fonte: Próprio Autor.

A interface gráfica tem por objetivo facilitar a leitura dos dados obtidos pelo sistema através das funcionalidades da telemetria, mas é apenas um ambiente de visualização. O aplicativo em si, que executa as tarefas, formata e separa os dados de forma adequada é programado em blocos separados, que correspondem aos requisitos de operação do sistema como um todo.

A interface gráfica desenvolvida é alimentada pelos dados que são coletados no sistema de sensores dentro do robô, e que são transmitidos através da tecnologia de comunicação *Bluetooth* até o *smartphone* onde o aplicativo se encontra instalado. A partir deste momento, os dados são devidamente organizados e disponibilizados para a interface gráfica apresentar ao piloto.

Na Figura 25 pode-se observar uma janela do código desenvolvido para este projeto no ambiente de programação em blocos do aplicativo.

Figura 25 – Código desenvolvido para o aplicativo de telemetria



Fonte: Próprio Autor.

Com a programação totalmente pronta e funcional, foi realizado o *download* da interface para o *smartphone* e iniciados os ensaios em laboratório. A Figura 26 demonstra o aplicativo já instalado no *smartphone* que será utilizado pelo piloto do robô para a leitura dos dados, onde pode-se perceber as medições das grandezas definidas neste projeto.

Figura 26 – Aplicativo desenvolvido em operação



Fonte: Próprio Autor.

### 3.6. PROTEÇÃO MECÂNICA

Nesta aplicação das técnicas de telemetria é importante observar que o ambiente é altamente hostil para a operação e necessita de cuidados especiais. Em geral, durante as batalhas dentro da arena os robôs são levados ao extremo de suas especificações de operação em busca da melhor performance possível, muitas vezes causando até danos que podem levar a desclassificação.

O ambiente costuma ser muito quente na arena nos dias de competição, chegando a temperatura do ar em torno de 50°C. Em geral isto não costuma ser um problema para os robôs, que devem suportar temperaturas muito mais elevadas, mas a eletrônica embarcada não responde da mesma forma e merece todos os cuidados para manter sua operação normal. Da mesma forma, durante as batalhas existe a geração de muita poeira e fragmentos metálicos, altamente condutivos, que também não devem entrar em contato com a eletrônica. Não obstante, os robôs ainda são submetidos a impactos muito fortes durante as batalhas, assim como ataques com armas das mais diversas. Na Figura 27 pode-se observar um dano causado por um choque entre robôs.

Figura 27 – Danos causados na carcaça por choques mecânicos



Fonte: Próprio Autor.

Embora não pareça um dano muito expressivo, ele representa diversas toneladas de impacto, pois é bom lembrar que esta rampa é construída com aço endurecido. Na Figura 28 pode-se observar também alguns danos na carcaça referentes a ataques de oponentes utilizando armas rotativas.

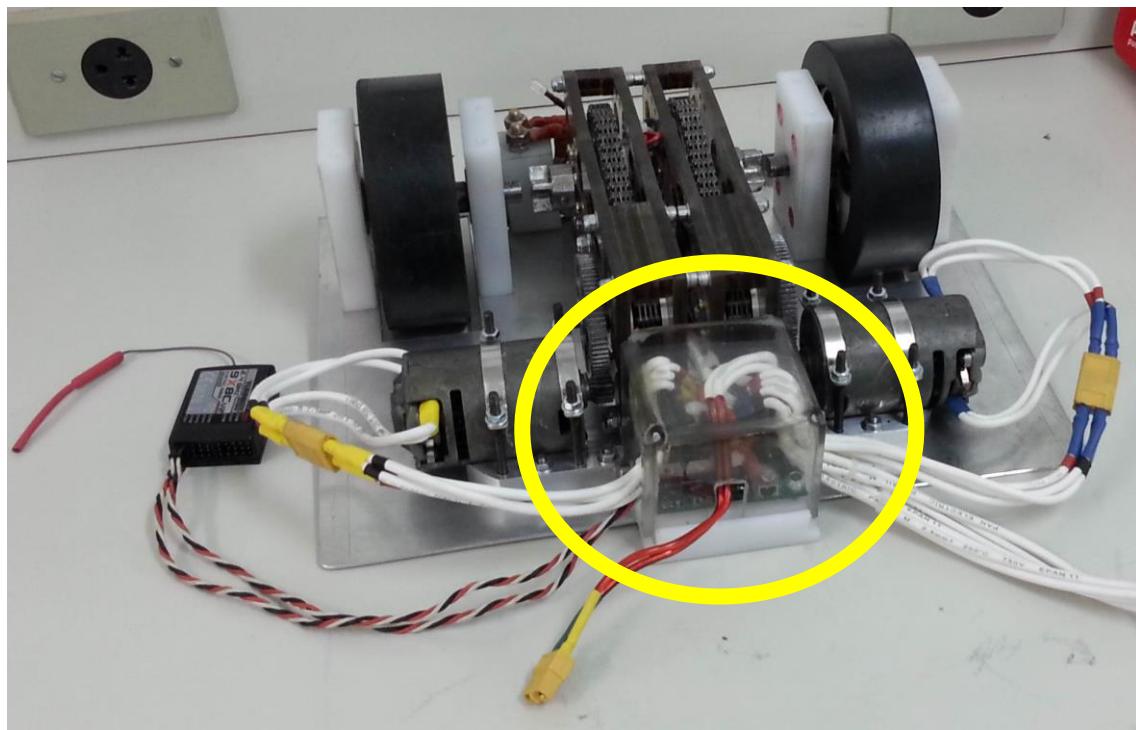
Figura 28 – Danos causados na carcaça devido a armas ativas



Fonte: Próprio Autor.

Da mesma forma que os danos causados por essas armas mecânicas podem afetar os componentes eletrônicos dos circuitos desenvolvidos, o uso de lança-chamas como arma também deve ser devidamente, pois pode destruir em segundos todo o circuito de telemetria. Para evitar estes danos, o circuito de aquisição de dados do interior do robô está sendo acondicionado dentro de um invólucro à prova de balas construído a partir de uma placa de 10 mm de policarbonato rígido, e estabilizado sobre uma plataforma à prova de impactos. Na Figura 28 pode-se observar esse invólucro sendo utilizado na proteção da eletrônica de controle do robô, onde os parâmetros de telemetria, com exceção das temperaturas, também estão sendo monitorados.

Figura 29 – Proteção desenvolvida em policarbonato para a telemetria



Fonte: Próprio Autor.

Em caso de algum sensor deixar de operar, como os termistores que são instalados fora do invólucro de proteção, o robô continuará sua operação de forma totalmente normal, e apenas deixará de fornecer as informações daqueles parâmetros monitorados em tempo real.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para concluir as atividades propostas neste projeto, neste capítulo estão sendo apresentados os resultados obtidos através dos ensaios realizados com o sistema em um ambiente de testes dentro do laboratório. Adicionalmente também estão sendo analisados estes dados obtidos para fornecer subsídios de discussão para eventuais acertos e correções que se tornem necessárias para a plena operação dentro dos requisitos do projeto.

Embora o planejamento original deste projeto contemple a participação do autor na *XII Winter Challenge* de 2016, que é o evento nacional de maior renome na competição de robôs de combate da América Latina, devido à remarcação das datas deste evento, não será mais possível a participação em tempo hábil. Os ensaios foram então apenas realizados em laboratório, com estressamento máximo das funções dos módulos do robô e seu monitoramento em tempo real, avaliando a confiabilidade e precisão do sistema de telemetria de forma muito semelhante ao que seria realizado no evento.

Futuramente o sistema de telemetria será amplamente testado em um ambiente real, onde serão avaliados todos os parâmetros de operação e serão propostos os ajustes e correções necessárias.

### 4.1. ENSAIOS EM LABORATÓRIO

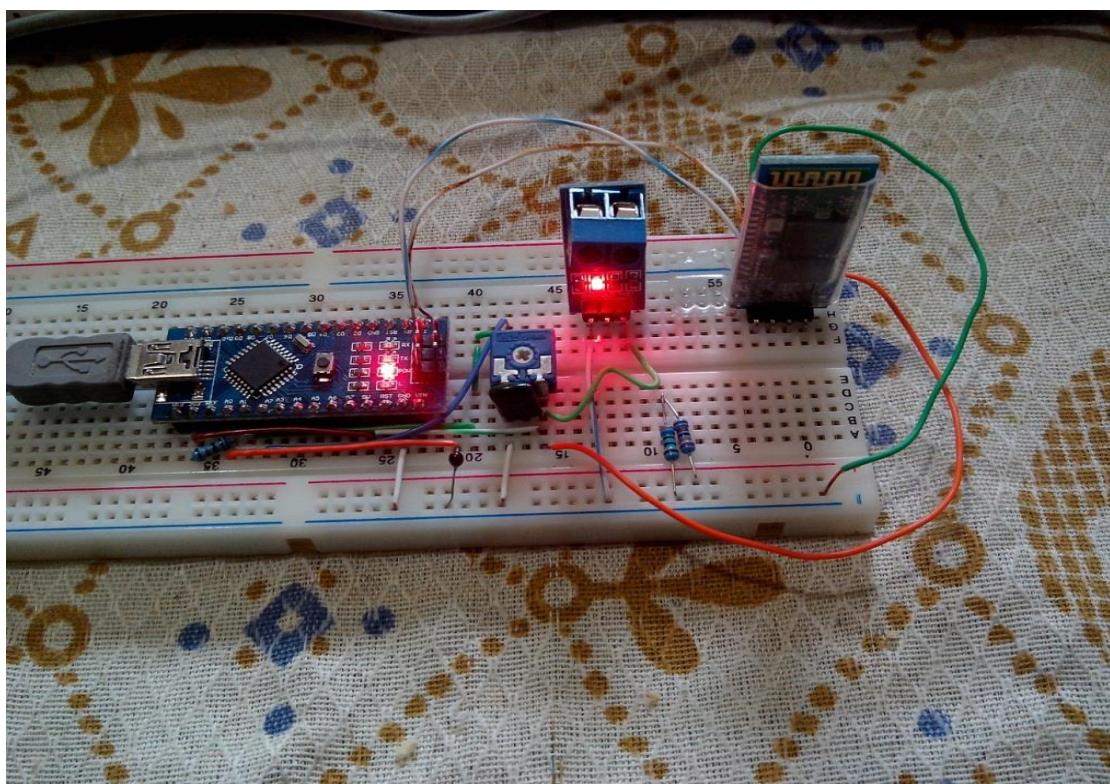
Conforme comentado anteriormente, como não foi possível realizar os experimentos do sistema de telemetria desenvolvido no ambiente real de utilização devido a divergências do calendário dos eventos, foram realizados diversos ensaios em laboratório que procuraram se assemelhar ao máximo com as condições da arena. Estes ensaios consistiram em realizar todos os experimentos possíveis para investigar o pleno funcionamento do *hardware* e do *software* desenvolvido.

Para a análise em laboratório das funcionalidades do *software* e dos mecanismos de comunicação não foram utilizados artifícios para simular o ambiente real, pois as condições são relativamente semelhantes. A parte mais significativa nestes ensaios e que merece cuidado adicional é referente à área de cobertura do sinal *Bluetooth*, que pode sofrer leves variações em relação a

sua posição dentro da arena e a orientação da antena do módulo de captura com a antena do *smartphone*. Como o robô Bagual possui uma janela de policarbonato para a comunicação via rádio, e o posicionamento do módulo é o mesmo no interior dele, não deverá apresentar problemas adicionais na realização dos ensaios em um ambiente real. Possíveis correções para incrementar o alcance, caso isto se torne necessário, devem ser realizadas após o retorno da competição.

Por outro lado, para a avaliação dos recursos de *hardware*, foram tomados todos os cuidados possíveis para simular o ambiente de competição. Nestes ensaios foram utilizados os recursos de operação do robô considerando a operação extrema, com o objetivo de gerar um estresse controlado e acelerar os resultados em caso de falhas. A Figura 30 apresenta o circuito utilizado para os ensaios em laboratório, ainda montados sobre um *protoboard* para simplificar as alterações que por ventura se tornassem necessárias. Pode-se notar a presença do Arduino, os sensores, a fonte de alimentação e o módulo *Bluetooth*.

Figura 30 – Circuito utilizado para aquisição dos parâmetros do robô



Fonte: Autor

Com o objetivo de utilizar os recursos de *hardware* ao seu limite, foram adaptados para uso em laboratório as partes mais críticas de operação do robô, como os motores e seus controles de corrente PWM. Na Figura 31 pode-se observar um circuito de controle de corrente manual, de saída na forma de onda quadrada com largura variável – PWM, utilizado para levar as condições de operação do motor ao limite aceitável de segurança. Pode-se observar também um induzido deste mesmo motor que foi danificado nos ensaios para determinar o ponto máximo de operação antes da queima total.

Figura 31 – Circuito para controle da corrente do motor



Fonte: Autor

Estes motores utilizados podem suportar por alguns segundos correntes instantâneas de até 160 A/h, sendo que as baterias de operação do robô Bagual podem fornecer correntes de mais de 250 A/h de forma contínua. Estes valores colocam em prova todos os componentes utilizados, em relação as capacidades máximas de operação e ao próprio calor gerado por efeito Joule.

Para a aquisição dos dados através do módulo Arduino Nano utilizado neste projeto foi necessária a programação das portas A0, A1 e A2 como entradas analógicas de sinal, com capacidade de perceber sinais com variação de tensão de 0 a 5 Vcc dos sensores de temperatura, tensão e corrente

respectivamente. Na Figura 32 pode-se observar alguns fragmentos do código utilizado para a coleta e conversão dos dados dos sensores do robô.

Figura 32 – Programação utilizada no Arduino para coleta dos dados



```

teste2

float temperatura;
temperatura = media / termistornominal; // (R/R0)
temperatura = log(temperatura); // ln(R/R0)
temperatura /= bcoefficient; // 1/1
temperatura += 1.0 / (temperaturanominal + 273.15); .
temperatura = 1.0 / temperatura; // .
temperatura -= 273.15; // Correção de escala

//Envia as informacoes temperatura
int temp;
temp = temperatura;
temp = [analogOutPin0,temp];
Serial.write(200);
Serial.write(highByte(temp));
Serial.write(lowByte(temp));

// *** LEITURA DE TENSÃO NA PORTA A1 ***
sensorValue1 = analogRead(analogInPin1);
float voltage1 = sensorValue1 * (4.56 / 1023.0);
analogWrite(analogOutPin1, voltage1);

//Envia as informacoes tensao
int tensao;
tensao = voltage1;
tensao = (analogOutPin1,voltage1);
Serial.write(201);

// *** LEITURA DE CORRENTE NA PORTA A2 ***
sensorValue2 = analogRead(analogInPin2);
float corrente2 = 22 * (sensorValue2 * (Vin
// corrente2 = tensao2 - (Vin / 2)
analogWrite(analogOutPin2, corrente2);

//Envia as informacoes corrente
int valor_pot;
valor_pot = corrente2;
valor_pot = analogRead(analogOutPin2);
Serial.write(202);
Serial.write(highByte(valor_pot));
Serial.write(lowByte(valor_pot));

```

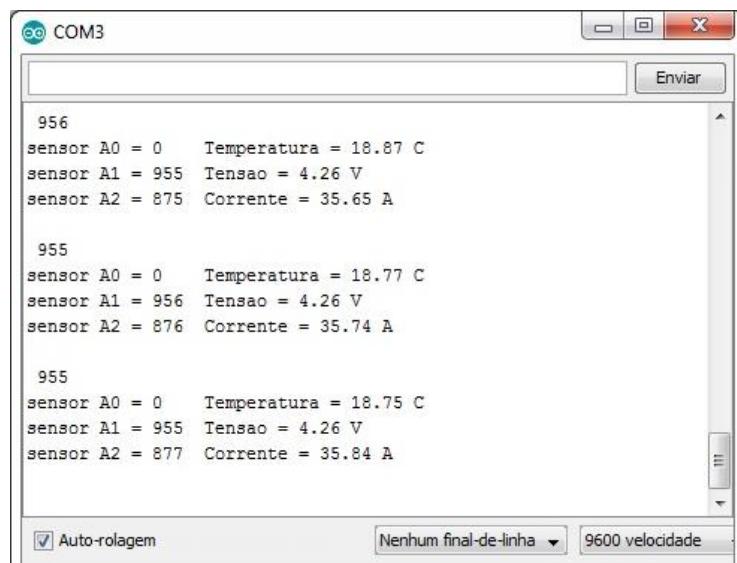
Fonte: Autor

Como a leitura dos dados de temperatura por *padrão* nos módulos Arduino são realizadas em Fahrenheit, foi necessária a conversão para graus centígrados direto na programação do dispositivo, o que economiza tempo de processamento posterior destas informações no aplicativo desenvolvido. Todos os ensaios realizados de leitura dos sensores funcionaram dentro do esperado, sem que houvesse interrupção na coleta dos dados em qualquer momento. Da mesma forma, a comunicação entre o módulo de telemetria e o *smartphone* via rede *Bluetooth* também não apresentaram problemas de conexão em nenhum momento dos ensaios, permanecendo neste estado mesmo com a criação e

utilização de outras redes de comunicação que utilizam essa mesma faixa de frequências ISM. O pareamento dos dispositivos pode levar algum tempo para acontecer, mas em 100% das tentativas foi obtido sucesso na conexão, mas requer um cuidado especial na utilização no ambiente real, pois é recomendável que seja montada a rede antes da entrada na arena.

Na Figura 33 pode-se verificar o terminal de monitoramento dos dados, já tratados, que foram adquiridos através dos sensores de temperatura, tensão e corrente do robô Bagual.

Figura 33 – Resultados obtidos através do terminal do software



```

956
sensor A0 = 0 Temperatura = 18.87 C
sensor A1 = 955 Tensao = 4.26 V
sensor A2 = 875 Corrente = 35.65 A

955
sensor A0 = 0 Temperatura = 18.77 C
sensor A1 = 956 Tensao = 4.26 V
sensor A2 = 876 Corrente = 35.74 A

955
sensor A0 = 0 Temperatura = 18.75 C
sensor A1 = 955 Tensao = 4.26 V
sensor A2 = 877 Corrente = 35.84 A

```

Auto-rolagem Nenhum final-de-linha 9600 velocidade

Fonte: Autor

Sensores geralmente respondem de forma não linear em relação as entradas que estão sendo medidas, e desta forma devem ser analisados, e se necessário calibrados através de curvas próprias para a determinação dos valores corretos.

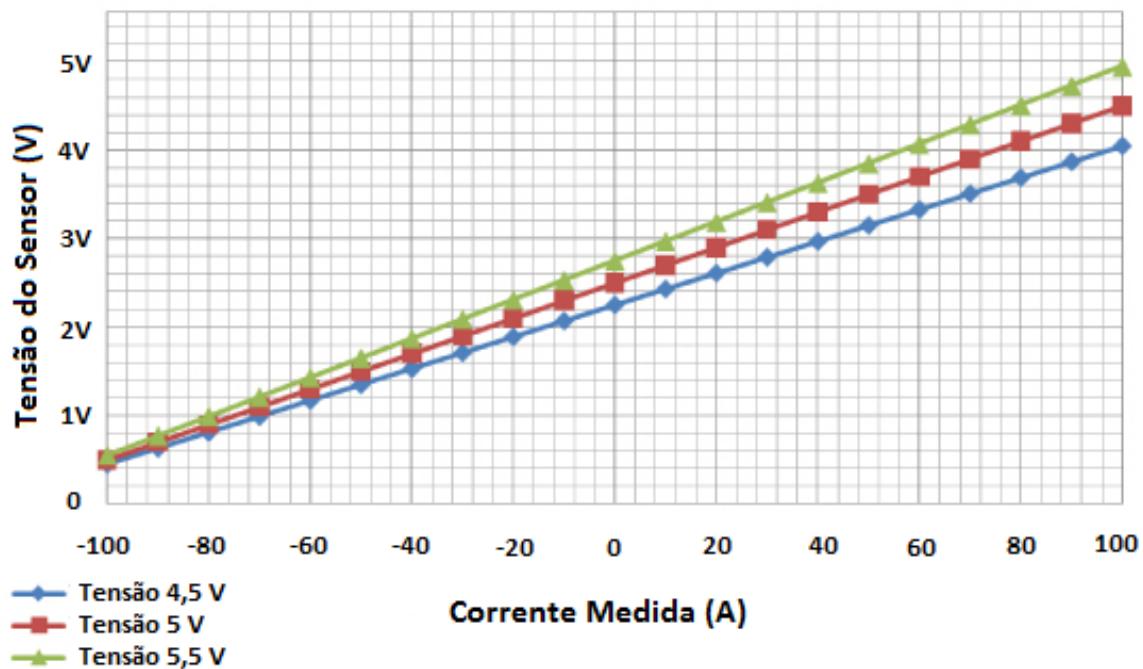
#### 4.1.1. Calibração das Curvas dos Sensores

Neste projeto foi utilizado um sensor de corrente específico que tem a capacidade de medir correntes contínuas e alternadas até o valor máximo de 100 A. Como estas correntes podem ser bidirecionais, uma vez que os motores

giram nos dois sentidos para realizar as manobras, foi atribuído como meio de escala de medição quando não existe corrente circulante, podendo desta forma assumir tantos valores positivos como negativos dentro de uma escala de 5 Vcc.

Também importante, foram realizadas medições de acordo com os níveis de tensão que o dispositivo está sendo alimentado, que deve ser em torno de 5 Vcc, com uma variação de mais ou menos 0,5 Vcc. Desta variação foram obtidas três curvas que podem interpolar os valores necessários para qualquer variação da tensão de entrada, que também é monitorada pelo sensor de tensão. Estas curvas que foram obtidas com o sensor de corrente da Allegro ACS 770 estão sendo demonstradas na Figura 34.

Figura 34 – Curva de calibração do sensor de corrente ACS770



Fonte: Autor

De forma semelhante, a utilização de termistor também oferece valores em tensões que não são lineares de acordo com a variação da temperatura que está sendo medida, além de ser inversamente proporcional, onde quanto maior a resistência apresentada, menor será a temperatura medida. Como a medição é realizada sobre um divisor que retorna uma tensão equivalente, a

variação da temperatura, entregue em tensão também pelo circuito ao Arduino, varia proporcionalmente com a temperatura. Na Tabela 1 pode-se observar as medições realizadas com o termistor NTC de  $10\text{k}\Omega$  utilizado neste projeto, e suas respectivas resistências internas equivalentes.

Tabela 1 – Valores correspondentes de temperatura do termistor utilizado

Temperatura Medida ( $^{\circ}\text{C}$ )	Resistência do NTC ( $\text{k}\Omega$ )
20	12,49
25	10,00
30	8,05
40	5,32
50	3,60
60	2,48
70	1,75
80	1,25
90	0,91
100	0,67

Fonte: Autor.

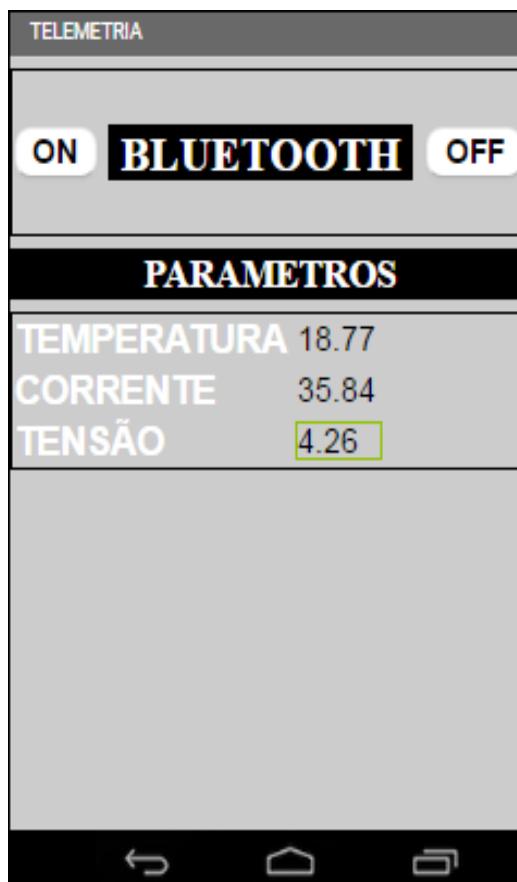
No caso da medição da tensão de operação do sistema não foi necessária nenhuma conversão de escala pelo uso do divisor de tensão, uma vez que o mesmo entrega ao módulo Arduino uma proporção, sempre linear, da própria grandeza que está sendo medida no robô.

#### 4.1.2. Ensaios com o Aplicativo

Concluindo as atividades deste projeto, foram realizados os experimentos relativos à integração do aplicativo desenvolvido com os dados coletados pelo

módulo de telemetria. Este aplicativo, que teve como definição a simplicidade do uso para não desconcentrar o piloto na hora das batalhas da arena, apresenta uma interface limpa que apresenta de forma direta apenas os valores que são relevantes à operação do robô. Na Figura 35 pode-se verificar esta interface em operação realizando a leitura e apresentação dos dados de temperatura, corrente e tensão obtidos no robô Bagual da equipe GaudérioBotz do CTISM.

Figura 35 – Tela de usuário do sistema de telemetria em operação



Fonte: Autor

De uma forma geral, pode-se observar que todos os resultados obtidos correspondem aos que foram propostos no projeto inicial, restando apenas a realização dos testes de operação dentro do ambiente real de utilização. Tanto a operação do módulo de telemetria do robô como o sistema de comunicações sem fio e o aplicativo apresentaram resultados satisfatórios, permitindo que o sistema seja utilizado na próxima competição de robôs que a equipe irá participar.

## 5. CONCLUSÃO

Desde 2011 a equipe de robótica GaudérioBotz do CTISM tem participado de eventos nacionais onde ocorrem batalhas de robes dentro de uma arena. Nestes eventos, o objetivo principal de cada equipe é construir e pilotar um robô que seja capaz de tornar o oponente inoperante, através de diversos artifícios e armas dentro dos regulamentos específicos. Os avanços nas tecnologias e a utilização de equipamentos de ponta na fabricação dos robôs pode fornecer o diferencial para este objetivo. Problemas mecânicos ou eletroeletrônicos são os maiores problemas de falhas na arena, sendo muito difícil a sua percepção até o momento em que o robô perde a funcionalidade no *round*.

Neste projeto foi proposto o desenvolvimento de um sistema de telemetria para utilização dentro do robô de combate da equipe chamado Bagual, que opera com motores e baterias que podem ultrapassar os 250 A/h e 180°C. Devido a estas grandezas muito elevadas, pequenos problemas de operação rapidamente se agravam durante a batalha, o que pode causar a desclassificação por *knockout*. Este sistema propôs, através de um sistema de telemetria baseado na comunicação sem fio, oferecer um *feedback* rápido dos parâmetros internos do robô em tempo quase real ao piloto, para que este através de técnicas de pilotagem mais invasivas possa garantir uma longevidade maior na competição. Os parâmetros mais importantes para essa tomada de decisão são as temperaturas, as tensões e a correntes circulantes.

Para o módulo de controle e aquisição de dados foi utilizado um módulo Arduino Nano conectado a diferentes tipos de sensores. O sensor de medição da temperatura que foi utilizado apresentou uma ótima relação de custo e peso para implementação de várias unidades dentro do robô, oferecendo maior quantidade de dados de diferentes componentes que podem estar sofrendo aquecimento. Para o sensor de tensão, foi utilizada a própria alimentação do módulo Arduino, que passou por um divisor para ser adequada aos níveis do componente.

Uma especial atenção foi dada ao sensor de corrente, que em geral exige que o circuito seja interrompido para a perfeita medição. Por se tratar de valores de corrente muito alto, além de atender a uma premissa do projeto de não oferecer risco à operação do robô em caso de falha do módulo de

telemetria, esta técnica não foi utilizada. Neste caso, para garantir essa alta confiabilidade do sistema, principalmente no ambiente hostil da arena, foi utilizado um sensor baseado no efeito *Hall*, que realizada a medição dos níveis de corrente a partir de um campo magnético induzido em um condutor interno. Tanto o módulo de controle como os sensores funcionaram totalmente dentro do esperado.

Para a comunicação destas informações com o piloto foi utilizada a tecnologia *Bluetooth*, que atendeu também de forma satisfatória os limites de cobertura da área total da arena de combate. Da mesma forma, para que o piloto tenha esses dados em mãos de forma prática e simples para a tomada de decisão, foi desenvolvido um aplicativo para utilização direta no seu *smartphone*, que apresenta as grandezas de temperatura, tensão e corrente em diferentes pontos de instrumentação do robô.

Concluindo estas atividades, observa-se que os resultados obtidos com este módulo de telemetria desenvolvido, mesmo que por enquanto testados apenas em laboratório, atenderam a todos os requisitos do projeto, assim como ocorreram dentro do esperado e com sucesso, e desta forma o projeto teve seu objetivo atendido.

### 5.1. TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, além da utilização do sistema em um ambiente real de competição, está sendo sugerido que este módulo de telemetria seja projetado de forma mais universal, permitindo a instrumentação de qualquer robô da equipe. Também muito relevante ao projeto, sugere-se para o futuro o desenvolvimento de uma interface para o piloto mais intuitiva, utilizando *gauges* analógicos, que são mais fáceis de visualizar do que valores digitais para cada um dos parâmetros. Este aplicativo também pode receber novas funcionalidade que agreguem mais recursos para a equipe, com a definição de limites dinâmicos para os parâmetros, permitindo a rápida sinalização de um alarme caso algum dado esteja fora do especificado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALECRIM, Emerson. Tecnologia Bluetooth: O que é e como funciona. Disponível em <<http://www.infowester.com/bluetooth.php>>. Acesso em 29 de maio de 2016.

Aquisição de Dados. Disponível em <<http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/pt/>>. Acesso em 15 de maio de 2016.

BARCELOS, Maurício; RIBEIRO, Raphael; VELASCO, Wesley. Sensores de Tensão, Corrente e Potência. Disponível em <<http://docslide.com.br/documents/sensores-de-tensao-corrente-e-potencia.html>>. Acesso em 28 de maio de 2016.

BELCHIOR, Fernando Nunes. ELE505 Medidas Elétricas. Disponível em <[http://www.gqee.unifei.edu.br/arquivos\\_upload/disciplinas/31/Apostila%20ELE505%20-%20Medidas%20Eletricas.pdf](http://www.gqee.unifei.edu.br/arquivos_upload/disciplinas/31/Apostila%20ELE505%20-%20Medidas%20Eletricas.pdf)>. Acesso em 15 de maio de 2016.

BERTEMES FILHO, Pedro. Termoresistores. Disponível em <[http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/bertemes/materiais/IEL\\_parte\\_2B.pdf&gws\\_rd=cr&ei=h8x0V4POEYG\\_jwS24LSACA](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/bertemes/materiais/IEL_parte_2B.pdf&gws_rd=cr&ei=h8x0V4POEYG_jwS24LSACA)>. Acesso em 27 de maio de 2016.

CARNEIRO, André. Sensores de Temperatura. Disponível em <[http://www.uesc.br/centros/ctr/modulos/didatico/palestras/seminarios/sct\\_2009/sem\\_dia3\\_andre.pdf](http://www.uesc.br/centros/ctr/modulos/didatico/palestras/seminarios/sct_2009/sem_dia3_andre.pdf)>. Acesso em 15 de maio de 2016.

COELHO, Marcelo Saraiva. Técnicas de Medição de Temperatura. Disponível em <[http://www.dca.ufrn.br/~acari/Sistemas%20de%20Medida/SLIDES\\_INSTRUMENTACAO%20TEMPERATURA.pdf](http://www.dca.ufrn.br/~acari/Sistemas%20de%20Medida/SLIDES_INSTRUMENTACAO%20TEMPERATURA.pdf)>. Acesso em 21 de maio de 2016.

Competição de Robôs. Disponível em <<http://redeglobo.globo.com/globouniversidade/noticia/2014/03/brasileiros-vem-conquistando-espaco-em-competicoes-de-robos.html>>. Acesso em 22 de maio de 2016.

FOROUZAN, Behrouz. Comunicação de Dados e Rede de Computadores. Tradução Glayson Eduardo de Figueiredo. 3º ed. Porto Alegre. Bookman, 2006.

Guerra de Robôs. Disponível em <http://uairrior.com.br/ps/guerra-de-robos.pdf>. Acesso em 18 de maio de 2016.

HAYT, Wiliam; BUCK, John. Eletromagnetismo. Tradução Amilton Soares Júnior. 7º ed. Dados Eletrônicos. Porto Alegre, 2011.

KUROUSE, James F.. Redes de Computadores e a Internet: Uma Abordagem Top Down. Tradução Opportunity Translations. 5º ed. São Paulo, 2010.

MALVINO, Albert Paul. Eletrônica Volume1. Tradução Romeu Abdo. 4º ed. Person Education do Brasil. São Paulo.

MARTINCOSKI, Daniel Henrique. Sistema para Telemetria de Eletro Cardiograma Utilizando Tecnologia Bluetooth. Disponível em <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/86164/197322.pdf?sequence=1>>. Acesso em 23 de maio de 2016.

MATTOS, Alessandro Nicoli. Telemetria e Conceitos Relacionados. Disponível em <<https://archive.org/details/TelemetriaEConceitosRelacionados>>. Acesso em 20 de junho de 2016.

MEGGIOLARO, Marco Antonio. Tutorial em Robôs de Combate. Disponível em <[http://www.riobotz.com.br/tutorial\\_riobotz.pdf](http://www.riobotz.com.br/tutorial_riobotz.pdf)>. Acesso em 19 de maio de 2016.

MELLO, João. Campeonato de UFC de Robôs. Disponível em <<http://revistagalileu.globo.com/Revista/Common/0,,EMI323026-17770,00-SAOPAULO+RECEBE+CAMPEONATO+DE+UFC+DE+ROBOS.html>>. Acesso em 20 de maio de 2016.

RAPPAPORT, Theodore S.. Comunicação Sem Fio: Princípios e Práticas. 2º ed. Tradução Daniel Vieira. São Paulo. Person Prentice Hall, 2009.

REZENDE, Paulo Henrique Oliveira; SAMESIMA, Milton Itsuo. Efeitos do Desequilíbrio de Tensões de Suprimentos nos Motores de Indução Trifásico. Disponível em <<http://www.seer.ufu.br/index.php/horizontecientifico/article/viewFile/4473/11857>>. Acesso em 16 de maio de 2016.

Robôs de Combate. Disponível em <<http://www.tritonrobos.com.br/tipocombate.htm>>. Acesso em 18 de maio de 2016.

PATSKO, Luís Fernando. Tutorial: Aplicações, Funcionamento e Utilização de Sensores. Disponível em <[http://www.maxwellbohr.com.br/downloads/robotica/mec1000\\_kdr5000/tutorial\\_eletronica - aplicacoes\\_e\\_funcionamento\\_de\\_sensores.pdf](http://www.maxwellbohr.com.br/downloads/robotica/mec1000_kdr5000/tutorial_eletronica - aplicacoes_e_funcionamento_de_sensores.pdf)>. Acesso em 20 de maio de 2016.

Robôs de Combate Nova Geração. Disponível em <<http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/1635-robs-de-combate-a-nova-gerao>>. Acesso em 18 de maio de 2016.

SILVA, Luciano Alves. Programando Passo a Passo Programação Básica (Versão Android Studio). Disponível em <<http://othonbatista.com/arquivos/android/apostila-android.pdf>>. Acesso em 30 de maio de 2016.

Sensor de temperatura. Disponível em <<http://www.homemade-circuits.com/>>. Acesso em 20 de junho de 2016.

Sistemas de Aquisição de Dados. Disponível em <[http://www.estgv.ipv.pt/paginaspessoais/maeb/im/Teorica\\_Bibliografia/Cap\\_E\\_Sistemas%20de%20Aquisi%C3%A7%C3%A3o%20de%20Dados/1-Introdu%C3%A7%C3%A3o/DAQ\\_portugues.pdf](http://www.estgv.ipv.pt/paginaspessoais/maeb/im/Teorica_Bibliografia/Cap_E_Sistemas%20de%20Aquisi%C3%A7%C3%A3o%20de%20Dados/1-Introdu%C3%A7%C3%A3o/DAQ_portugues.pdf)>. Acesso em 16 de maio de 2016.

TANENBAUM, A. S.: Redes de Computadores. 4a Ed., Editora Campus (Elsevier), 2003.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga. Sensores industriais: Fundamentos e Aplicações. Disponível em <<http://www.rpds-download.org/sensores-industriais-fundamentos-e-aplicacoes/>>. Acesso em 29 de maio de 2016.