

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS DE CURITIBANOS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Lucas Rodrigues da Silva

Desenvolvimento de dispositivo eletrônico para mensuração florestal

CURITIBANOS

2018

Lucas Rodrigues da Silva

Desenvolvimento de dispositivo eletrônico para mensuração florestal

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Florestal

Orientador: Prof. Dr. Crysttian Arantes Paixão

Curitiba

2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Silva, Lucas Rodrigues da
Desenvolvimento de dispositivo eletrônico para mensuração
florestal / Lucas Rodrigues da Silva ; orientador,
Crysttian Arantes Paixão, 2018.
42 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus
Curitibanos, Graduação em Engenharia Florestal,
Curitibanos, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia Florestal. 2. Engenharia Florestal. 3.
Dendrometria. 4. Inventário Florestal. 5. Arduino. I.
Arantes Paixão, Crysttian. II. Universidade Federal de
Santa Catarina. Graduação em Engenharia Florestal. III.
Título.

Lucas Rodrigues da Silva

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO ELETRÔNICO PARA
MENSURAÇÃO FLORESTAL**

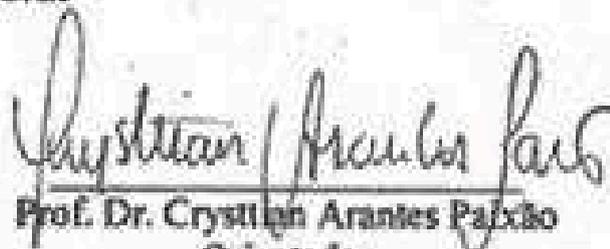
Esta Monografia foi julgada adequada para obtenção do Título de
"Bacharel em Engenharia Florestal" e aprovada em sua forma final pelo
Programa de Graduação.

Curitiba, 27 de novembro de 2018.



Prof. Dr. Marcelo Callegari Scipioni
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Crystian Arantes Paixão
Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Dr. Mário Dooner Júnior
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Dr. Otávio Camargo Campos
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho ao meu avô, Antônio Rodrigues (*in memoriam*), pois se hoje estou aqui é devido aos seus ensinamentos e valores passados. Obrigado por tudo!
Saudades eternas!

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe Eliete e minha avó Marisa que batalharam muito para me oferecer uma educação de qualidade. Aos meus demais familiares, que sempre acreditaram no meu potencial e nunca negaram uma palavra de incentivo. A minha namorada Rubia, que ao longo desses anos me deu não só força, mas apoio para vencer essa etapa na minha vida acadêmica. Aos meus sogros que me acolheram como filho, e fizeram me sentir em casa, mesmo distante. A todos os meus amigos, que deram uma contribuição valiosa para a minha jornada acadêmica. Obrigado pelos conselhos, palavras de apoio, puxões de orelha e risadas. Aos professores que durante anos compartilharam seus conhecimentos comigo, meu muito obrigado. Não posso deixar de agradecer em especial o meu orientador, Crysttian, que nunca negou uma ajuda e me trouxe conselhos que levarei para a vida. Por fim, manifesto aqui a minha gratidão à Deus, que me deu força e energia para realizar esse sonho.

RESUMO

Uma árvore pode apresentar diversas informações, ficando essas armazenadas em suas características como diâmetro, altura, anéis de crescimento, dentre outras. Essas características permitem, por exemplo, descrever e avaliar o seu padrão de crescimento. Algumas dessas características só são obtidas por determinados equipamentos, como os hipsômetros, sendo alguns deles de custo elevado. Devido a esse problema, deu-se a importância em desenvolver um equipamento eletrônico, com custo reduzido, para mensuração de alturas em povoamentos florestais. Sua construção foi elaborada a partir da plataforma Arduino em conjunto com sensores capazes de medir distâncias e ângulos. O objetivo foi avaliar a acurácia do equipamento desenvolvido frente a outros hipsômetros: Vertex Laser e TruPulse 2000. Os dados foram coletados em povoamentos experimentais de *Eucalyptus dunnii* e *Araucaria angustifolia*. As alturas medidas foram avaliadas por meio de um teste t aplicando a correção de Bonferroni, comparando os equipamentos dois a dois. Os resultados mostram que o protótipo obteve melhores resultados em povoamentos mais baixos, porém mesmo em povoamentos mais altos o erro é inferior à 10%. O custo total para a fabricação do equipamento desenvolvido ficou na faixa de US\$144,86, podendo ser comercializado por até 60% a menos do valor de um Hipsômetro Vertex.

Palavras-chave: Inventário florestal. Dendrometria. Arduino.

ABSTRACT

A tree can present several information, being stored in its characteristics such as diameter, height, rings of growth, among others. These special characteristics allow us to describe and analyze the growth pattern. Considering these characteristics, some of them can only be measured by the use of specially designed equipments, such as hypsometers, that can be very expensive. Owing to this problem, attached importance to developing an electronic equipment, with low cost, to measure heights in forest stands. It's construction was elaborated from the Arduino platform together with sensors able to measure distances and angles. The objective was to evaluate the accuracy of the equipment developed compared with that in others hypsometers: Vertex Laser and TruPulse 2000. The data were collected in experimental stands of *Eucalyptus dunnii* and *Araucaria angustifolia*. The measured heights were evaluated through of a t-test applying the Bonferroni correction, comparing the equipment two to two. The results show that the prototype obtained better results in small trees, but even in higher trees the error is less than 10%. The total cost to manufacture the equipment developed was of US\$ 144.86 and can be commercialized for up to 60% less than the value of a Vertex Laser.

Keywords: Forest inventory. Dendrometry. Arduino.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Prancheta dendrométrica.	18
Figura 2 – Hipsômetro de Christen.....	19
Figura 3 – Hipsômetro de Merrit.....	20
Figura 4 – Clinômetro.....	20
Figura 5 – Hipsômetro Vertex.....	21
Figura 6 – Transponder.....	21
Figura 7 – Arduino UNO R3.	22
Figura 8 – IDE do Arduino versão 1.8.2 sendo executada.	23
Figura 9 – Vista traseira (acima) e vista frontal (abaixo) do Sensor ultrassônico HC-SR04.	24
Figura 10 – Sensor MPU-6050.....	25
Figura 11 – Display LCD 16x2.....	25
Figura 12 – Push button.	26
Figura 13 – Resistor 220Ω.	26
Figura 14 – Potenciômetro 10KΩ.	27
Figura 15 – Diodo laser 5V.....	27
Figura 16 – Método trigonométrico utilizado para cálculo da altura.	28
Figura 17 – Simulação do dispositivo no Software Fritzing.	29
Figura 18 – Circuito eletrônico: (a) Esquema elétrico base para a confecção das placas físicas de circuito impresso; (b) Desenho da Placa de Circuito Impresso - Vista frontal; (c) Desenho da Placa de Circuito Impresso - Vista Traseira.	30
Figura 19 – Vista superior do protótipo.	31
Figura 20 – Vista frontal do protótipo.	31
Figura 21 – Vista lateral do protótipo.....	32
Figura 22 – Vista interna do protótipo.	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados de alturas coletadas em régua Telescópica de 5m para aferição da eficiência dos dispositivos em laboratório.	34
Tabela 2 – Dados de alturas coletadas nos povoamentos de <i>Eucalyptus dunnii</i> e <i>Araucaria angustifolia</i> com o TruPulse (Tp), Vertex (Vt) e o Protótipo (Pt).	35
Tabela 3 – Média da altura total e o desvio padrão da altura total considerando os diferentes aparelhos de medição.	35
Tabela 4 – Tamanho da amostra para estimar uma média populacional com 90% de confiança.	36
Tabela 5 – Valor-p do teste t com correção de Bonferroni para comparações feitas duas a duas no plantio de <i>Eucalyptus dunnii</i>	37
Tabela 6 – Valor-p do teste t com correção de Bonferroni para comparações feitas duas a duas no plantio de <i>Araucaria angustifolia</i>	37
Tabela 7 – Erro relativo apresentado pelos equipamentos nos povoamentos de <i>Eucalyptus dunnii</i> e <i>Araucaria angustifolia</i> , respectivamente.	38
Tabela 8 – Custo total para a confecção do protótipo do dispositivo.	39
Tabela 9 – Custo total estimado para a fabricação da versão final do dispositivo. ...	40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	16
2.1	OBJETIVO GERAL.....	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3	REFERÊNCIAL TEÓRICO	17
3.1	INSTRUMENTOS MEDIDORES DE ALTURA	17
3.2	ARDUINO E SEUS SENSORES	21
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	27
4.1	O PROTÓTIPO.....	29
4.2	ÁREA EXPERIMENTAL	33
4.3	AMOSTRAGEM.....	33
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
6	CONCLUSÃO.....	41
	REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

Na Engenharia Florestal, entre as etapas principais de atividades de Manejo Florestal, encontra-se a avaliação da composição de povoamentos. A avaliação é feita por meio de Inventários Florestais. Este procedimento quantifica e qualifica as variáveis dendrométricas, especialmente para as árvores. As variáveis dendrométricas compreendem valores como diâmetros, alturas e outros (ARAUJO, 2006).

A altura, por exemplo, é uma variável de grande importância para o cálculo do volume, de incrementos em altura e serve como indicadora da qualidade produtiva de uma determinada área, por meio de estudos de sítios (MACHADO; FILHO, 2006). Ela pode ser medida de forma direta ou indireta.

As medidas diretas são aquelas tomadas sobre a árvore, sem necessidade de instrumentos específicos.

Nas medidas indiretas, como citam Silva e Neto (1979), faz-se necessário o uso de instrumentos que são conhecidos como hipsômetros. Estes por sua vez são equipamentos mais modernos e caros em decorrência da precisão desejada para realizar as mensurações. Com isso, há uma busca crescente por novas metodologias e instrumentos que possam ser capazes de apresentar a mesma precisão, porém com um custo relativamente inferior.

A plataforma Arduino tem sido usada e amplamente divulgada em todas as áreas de estudo. Seu sucesso deve-se ao seu baixo custo, sua facilidade de programação e sua capacidade em executar inúmeros projetos, dependendo só da curiosidade e imaginação do programador.

Nesse sentido, este projeto teve como objetivo a construção de um equipamento experimental, de baixo custo, desenvolvido a partir da plataforma Arduino em integração com sensores, que propicie a medição de alturas em povoamentos florestais.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um equipamento experimental de baixo custo para mensuração de alturas de árvores em povoamentos florestais

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar um levantamento de metodologias e equipamentos existentes de mensuração de alturas;
- Elaborar um dispositivo eletrônico, utilizando a plataforma Arduino, para realização de mensurações de alturas;
- Testar sua eficiência frente a outros equipamentos utilizando metodologias estatísticas.

3 REFERÊNCIAL TEÓRICO

As mensurações florestais são de suma importância em decorrência de suas inúmeras finalidades, porém apresentam um alto custo, ainda mais quando falamos em equipamentos.

Em Engenharia Florestal, a mensuração refere-se ao estudo das dimensões das árvores. Medidas como o diâmetro altura do peito (DAP) e a altura total são as variáveis mais importantes para o inventário florestal.

A densidade das florestas e dos povoamentos, a diversidade, a distribuição espacial das árvores, o tamanho e o crescimento esperado são informações adicionais necessárias nas pesquisas florestais e silviculturais. A amostragem, baseada em inferências estatísticas, desempenha um papel dominante na mensuração e no inventário florestal, principalmente devido ao elevado custo para coletar e processar dados de campo. Durante os últimos anos foram feitos progressos consideráveis no desenvolvimento de métodos de medição de características de árvores e povoamentos, mas também na instrumentação e na análise estatística dos valores mensuráveis das florestas (LAAR; AKÇA, 2007).

Para a obtenção das grandezas florestais são necessários o uso de instrumentos específicos para esses fins. Equipamentos como suta e trena são os mais comuns para determinação de diâmetros e hipsômetros para determinação de alturas. Segundo estudo realizado por Freitas et. al. (2005) em um inventário de prospecção, itens como trena, podão, rotulador e hipsômetros contribuem com 99,7% do VC (Valor de Compra) e 99% do IMA (Investimento Médio Anual). O autor também destaca o elevado custo do Hipsômetro Vertex, chegando a representar 91,5% do IMA.

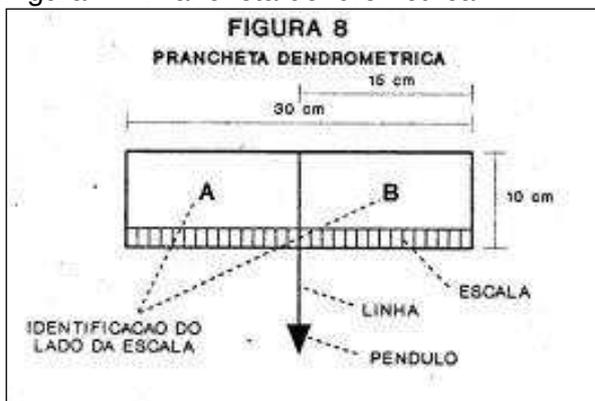
3.1 INSTRUMENTOS MEDIDORES DE ALTURA

A altura é uma das principais características observadas em árvores. Por meio dela, torna-se possível estimar o volume e determinar o seu padrão de crescimento. Os equipamentos que mensuram a altura de uma árvore têm que ser capazes de lidar

com diferentes formatos, alturas e obstáculos que dificultam a obtenção dos valores. Dentre esses equipamentos, destacam-se a Prancheta dendrométrica, Clinômetro e o Hipsômetro Vertex.

Uma forma de medição bem simples e amplamente divulgada é a prancheta dendrométrica, como demonstrada na Figura 1. Trata-se de uma régua graduada, com comprimento de 30 cm e altura entre 10 a 15 cm. A leitura das árvores é determinada por um pêndulo colocado no centro da prancheta. Quando a prancheta está na posição horizontal, o pêndulo sobrepõe o ponto zero da escala e conforme a inclinação aumenta têm-se dados da altura da árvore.

Figura 1 – Prancheta dendrométrica.

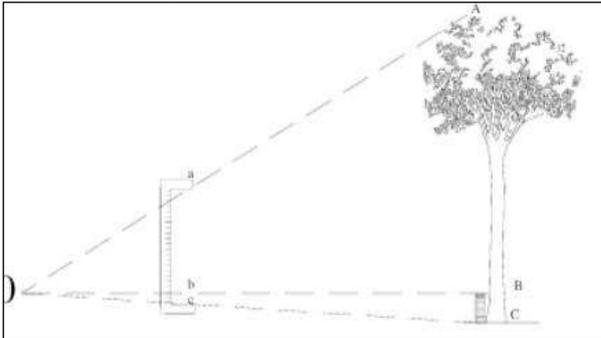


Fonte: COUTO; BATISTA; RODRIGUES, 1989.

Ribeiro (2011) propõe em sua metodologia o uso de um astrolábio caseiro aplicado ao método trigonométrico para mensuração da altura em espécies arbóreas. Essa metodologia demonstra de maneira prática e didática o funcionamento de uma prancheta dendrométrica.

Outro equipamento muito utilizado é o Hipsômetro de Christen, que consiste de uma régua de 30 cm de comprimento, conforme ilustrado na Figura 2. O processo de medição consiste em enquadrar a árvore nos 30 cm. A linha de visada que coincidir com o extremo superior da baliza, indicará no hipsômetro de Christen a altura da árvore (ARAÚJO, 2012).

Figura 2 – Hipsômetro de Christen.



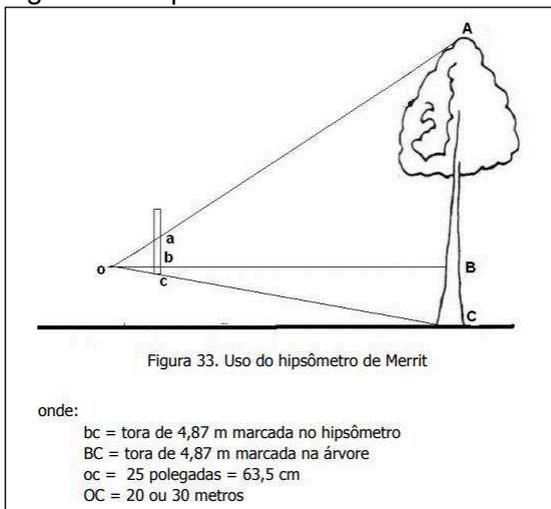
Fonte: ARAÚJO, 2012.

Um equipamento não muito utilizado nos dias de hoje, porém serviu de base para muitos outros, é o Hipsômetro de Merrit. Este instrumento mede a altura da árvore subdividindo-a em toras, que no instrumento original são 16 pés, o que corresponde a toras de 4,87 metros.

No instrumento original, o observador deve localizar-se a 20 ou 30 metros da árvore a ser medida e segurar o hipsômetro verticalmente a uma distância do olho de 25 polegadas, o que corresponde a 63,5 cm. Após isso, deve contar o número de toras de 4,87 metros que a árvore possui (Figura 3). Para se manter a distância entre o olho do observador e o hipsômetro, costuma-se usar um cordel amarrado ao mesmo como referência (SILVA; NETO, 1979).

Este hipsômetro pode ser constituído de acordo com as exigências do observador, bastando somente o mesmo manter as relações matemáticas.

Figura 3 – Hipsômetro de Merrit.



Fonte: SILVA; NETO, 1979.

Já o clinômetro, demonstrado na Figura 4, é um instrumento que mede a inclinação e geralmente apresenta escalas em graus que variam de 0° a 90° (ULISSES, 2004).

Figura 4 – Clinômetro



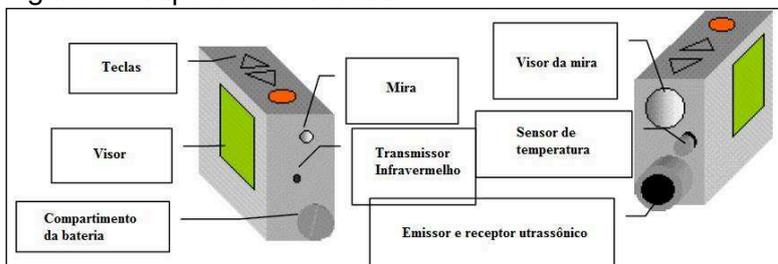
Fonte: Soilcontrol.

Na medição de alturas são feitas duas leituras, uma visando a base e outra visando o ápice da árvore com o objetivo de mensurar o ângulo. Também é necessário que se conheça a distância horizontal entre o observador e a árvore. Com essas medidas torna-se possível calcular a altura.

O Hipsômetro Vertex, equipamento mais completo e conseqüentemente de maior custo, é um aparelho eletrônico de fácil manuseio e alta precisão composto por duas partes, uma que é o próprio aparelho (Figura 5) e outra que consiste de um

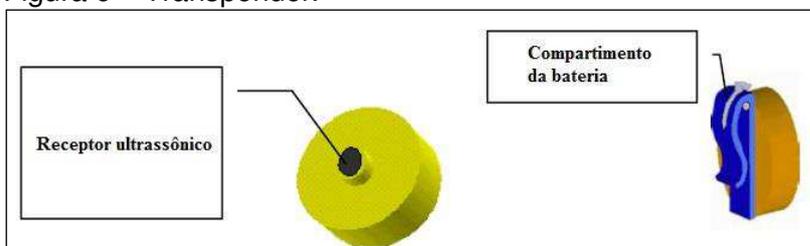
transponder (Figura 6). A principal vantagem deste aparelho é que se pode fazer a medição a qualquer distância.

Figura 5 – Hipsômetro Vertex.



Fonte: HAGLÖF SWEDEN AB, 2015, p.5, traduzido pelo autor.

Figura 6 – Transponder.



Fonte: HAGLÖF SWEDEN AB, 2015, p.5, traduzido pelo autor.

Para realizar a medição, o transponder é ligado e colocado a altura do DAP da árvore que terá sua altura medida. O observador fará a mira, visando o transponder e em seguida, o ápice da copa.

3.2 ARDUINO E SEUS SENSORES

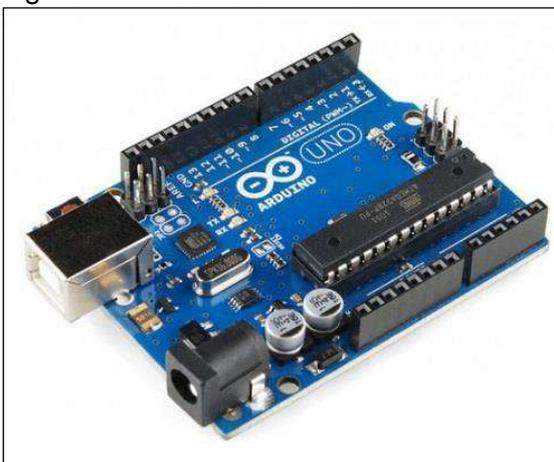
O Arduino é uma plataforma *open-source*, composta pelo conjunto hardware e software, que utiliza um microcontrolador para conectá-lo a componentes complementares, como LEDs, motores e diversos sensores. Foi desenvolvido com o intuito de facilitar a elaboração de projetos de baixo custo e a isso deve-se a sua popularidade.

O hardware do Arduino é composto por microprocessador (responsável pelos cálculos e tomada de decisão), memória RAM (utilizada para armazenar dados e instruções), memória *flash* (utilizada para armazenar o software), portas analógicas e digitais, temporizadores, dentre outros. O Arduino Uno (“Uno” significa um em italiano

e foi escolhido para marcar o lançamento do Arduino Software (IDE) 1.0.) (Figura 7), a versão mais vendida, será a utilizada neste projeto.

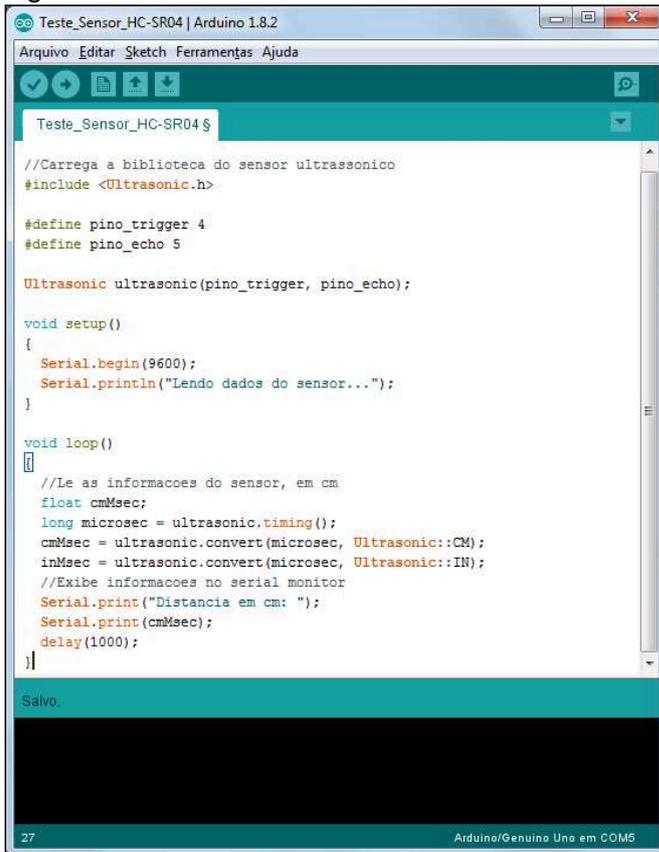
O Arduino possui um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) que permite seus códigos serem digitados. Esse ambiente está ilustrado na Figura 8. O Arduino é baseado na Framework *Wiring* e na linguagem de programação C/C++. *Sketch* é o nome dado a um código desenvolvido para Arduino, cuja tradução poderia ser “esboço” ou “rascunho”. Esse nome tenta deixar claro que um código para um Arduino estará em constante mudanças para melhorias (HACHOUCHE, 2016).

Figura 7 – Arduino UNO R3.



Fonte: HACHOUCHE, 2016, p. 8.

Figura 8 – IDE do Arduino versão 1.8.2 sendo executada.



```
Teste_Sensor_HC-SR04 | Arduino 1.8.2
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
Teste_Sensor_HC-SR04 $
//Carrega a biblioteca do sensor ultrassonico
#include <Ultrasonic.h>

#define pino_trigger 4
#define pino_echo 5

Ultrasonic ultrasonic(pino_trigger, pino_echo);

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Lendo dados do sensor...");
}

void loop()
{
  //Le as informacoes do sensor, em cm
  float cmMsec;
  long microsec = ultrasonic.timing();
  cmMsec = ultrasonic.convert(microsec, Ultrasonic::CM);
  inMsec = ultrasonic.convert(microsec, Ultrasonic::IN);
  //Exibe informacoes no serial monitor
  Serial.print("Distancia em cm: ");
  Serial.print(cmMsec);
  delay(1000);
}
```

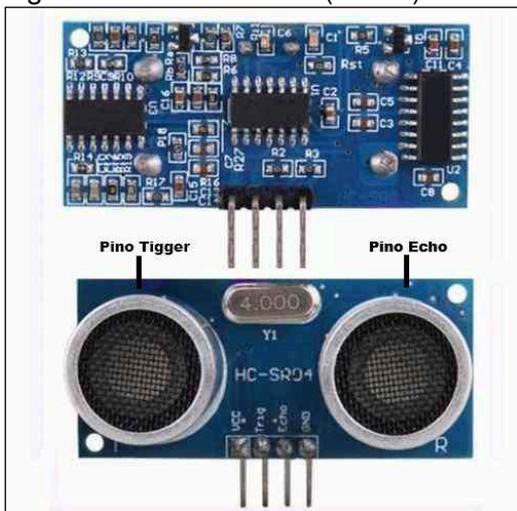
Salvo.

27 Arduino/Genuino Uno em COM5

Fonte: Tela da aplicação no sistema operacional Windows 7.

Um dos componentes chave desse trabalho é o sensor HC-SR04. Ele é o responsável por determinar a distância entre o observador e a árvore. O sensor, como pode ser visto na Figura 9, possui dois pinos principais, um transmissor (Pino T) e um receptor (Pino R). O sensor emite uma onda sonora que ao encontrar um obstáculo é rebatida e retorna. O tempo entre a emissão da onda e a detecção da reflexão possibilita o cálculo da distância (VARANIS et. al., 2016).

Figura 9 – Vista traseira (acima) e vista frontal (abaixo) do Sensor ultrassônico HC-SR04.

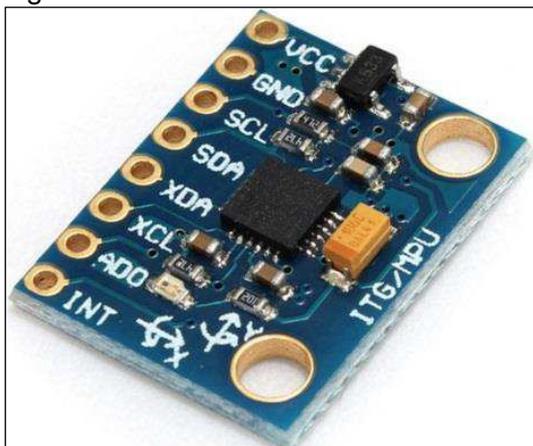


Fonte: Cytron technologies, 2013, p. 5.

Outro sensor de suma importância nesse projeto é o MPU-6050. Esse sensor trata-se de um acelerômetro e giroscópio de 6 eixos, 3 para o acelerômetro e 3 para o giroscópio. Portanto, o sensor (Figura 10) captura os canais X, Y e Z ao mesmo tempo, permitindo uma alta precisão nos valores obtidos. Neste projeto, ele é o responsável por determinar os ângulos que serão usados nos cálculos do equipamento.

O sensor MPU-6050 demandou uma calibração prévia para que sua precisão não fosse comprometida. Essa calibração consistiu em determinar para o sensor o ângulo zero. Esse procedimento exigiu que um código de calibração fosse compilado com o sensor previamente conectado e posicionado em uma superfície plana, para que pudesse ser calibrado o ângulo de referência. Ao final do processo o sensor forneceu seis informações, cada uma relativa à inclinação de cada eixo, que foram utilizadas ao decorrer da programação do dispositivo.

Figura 10 – Sensor MPU-6050.

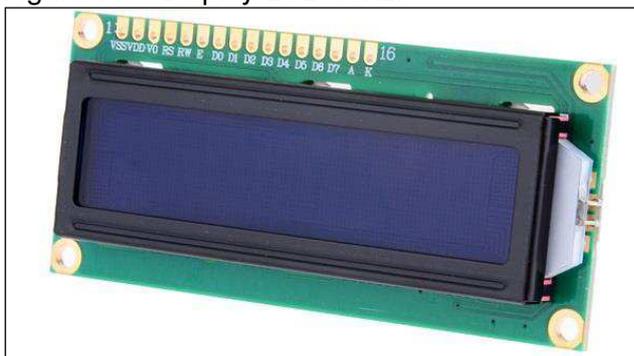


Fonte: Filipeflop.

Com a finalidade de apresentar um menu de navegação, bem como as informações em tempo real dos valores medidos, data, hora e temperatura, foi utilizado 1(um) display LCD 16x2 (16 linhas e 2 colunas) (Figura 11).

Os displays são interfaces gráficas utilizadas para visualização de informações do programa, como por exemplo, uma mensagem ou dados lidos pelos sensores (HACHOUCHE, 2016).

Figura 11 – Display LCD 16x2.



Fonte: Filipeflop.

Para permitir a navegação entre os menus, bem como o acionamento dos sensores, foram utilizados 5 (cinco) interruptores *Push Button* do tipo de conexão NA (Normalmente Aberta).

Os *Push Buttons* (Figura 12) são interruptores de pressão, ou seja, só são acionados enquanto forem mantidos pressionados, permitindo ou não a passagem de corrente elétrica (HACHOUCHE, 2016). Esse tipo de chave pode ser Normalmente

Fechada (NF), quando a conexão entre os contatos está estabelecida por padrão e é interrompida ao pressionar do botão; ou então Normalmente Aberta (NA), caso no qual a conexão é estabelecida ao pressionar o botão (HACHOUCHE, 2016).

Figura 12 – Push button.



Fonte: Filipflop.

Uma vez que a tensão fornecida pelo Arduino é ligeiramente superior a suportada pelos interruptores, foram utilizados 4 (quatro) resistores de 220Ω (Ohm) (Figura 13) ligados em paralelo aos interruptores (*Push Buttons*), com a finalidade de evitar o curto circuito dos mesmos.

Resistores são componentes que oferecem resistência à passagem de corrente elétrica, deste modo causam uma queda de tensão na região do circuito em questão.

A escolha dos resistores teve como base a relação entre tensão, corrente e resistência, seguindo a Lei de Ohm (Equação (1)).

$$R = \frac{V}{I} \quad (1)$$

Onde: V é a tensão em Volts, I é a corrente que circula através do objeto em Amperes e R é a resistência em Ohms.

Figura 13 – Resistor 220Ω.



Fonte: Ebay.

Foi ligado ao display LCD, para controle da luminosidade, 1(um) potenciômetro de $10K\Omega$ (dez Kilo Ohm), como pode ser visto na Figura 14. Potenciômetros são resistores como os já citados anteriormente, porém estes possuem a sua resistência elétrica ajustável.

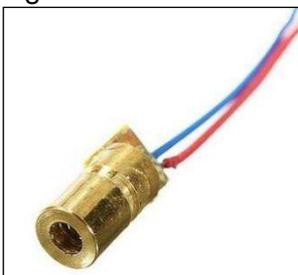
Figura 14 – Potenciômetro $10K\Omega$.



Fonte: Baú da eletrônica.

Como forma de auxiliar a mira da árvore a ser medida, foi incrementado um Diodo Laser (Figura 15). Este diodo gera um feixe de luz em formato de ponto e possui um sistema de regulagem.

Figura 15 – Diodo laser 5V.

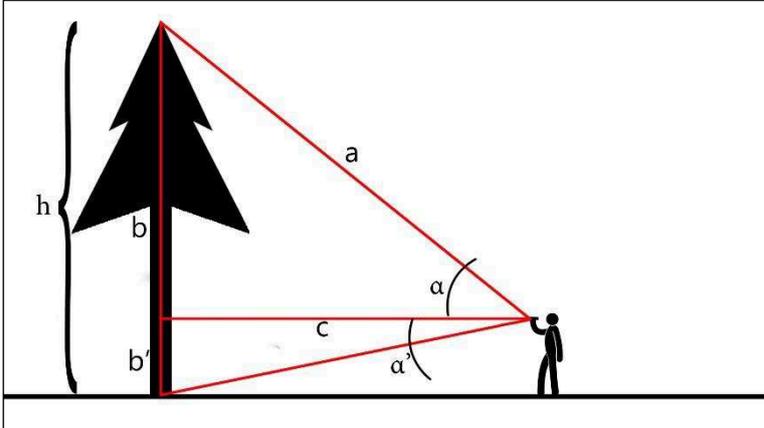


Fonte: Vida de Silício.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O funcionamento do dispositivo foi baseado no modelo trigonométrico (Equações (2.1) e (2.2)), onde a altura é calculada a partir da medição da distância e da determinação de dois ângulos (Figura 16).

Figura 16 – Método trigonométrico utilizado para cálculo da altura.



Fonte: Elaborado pelo autor.

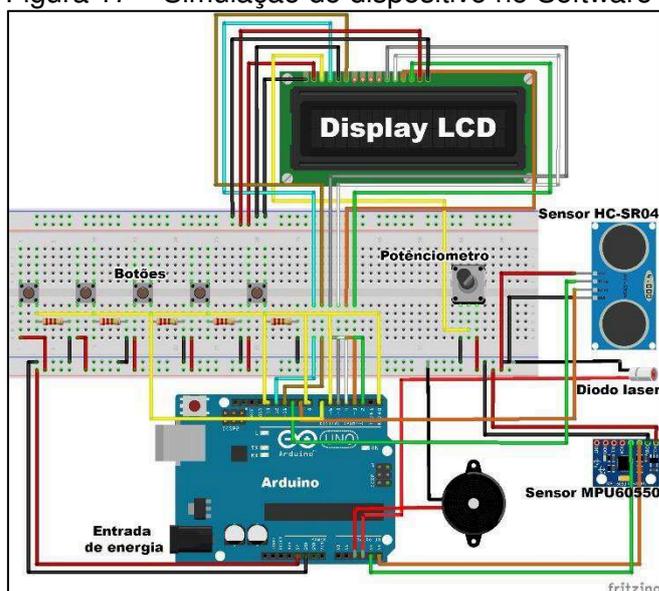
$$tg(\alpha) = \frac{\textit{cateto oposto}}{\textit{cateto adjacente}} = \frac{b}{c} \quad (2.1)$$

$$tg(\alpha') = \frac{\textit{cateto oposto}}{\textit{cateto adjacente}} = \frac{b'}{c} \quad (2.2)$$

Seguindo as equações (2.1) e (2.2) temos que $b = tg(\alpha) * c$ e $b' = tg(\alpha') * c$, então $h = b + b'$.

Após a definição do modelo matemático, o planejamento do dispositivo se deu com o auxílio do software Fritzing, onde foram possíveis realizar simulações que facilitaram as inúmeras correções que se fizeram necessárias. A montagem do sistema no simulador pode ser vista na Figura 17.

Figura 17 – Simulação do dispositivo no Software Fritzing.



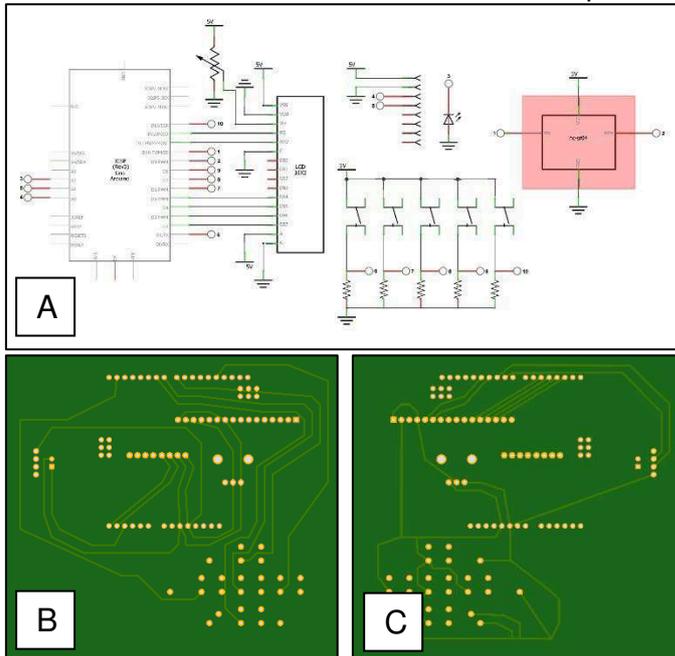
Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o projeto base definido, após testes no simulador, a montagem física do dispositivo começou a ser realizada levando em conta as características físicas de cada componente.

4.1 O PROTÓTIPO

Com auxílio do *software* Fritzing foi elaborado o esquema elétrico e também o desenho das Placas de Circuito Integrado, que futuramente podem servir de base para a construção da versão final do equipamento (Figura 18)

Figura 18 – Circuito eletrônico: (a) Esquema elétrico base para a confecção das placas físicas de circuito impresso; (b) Desenho da Placa de Circuito Impresso - Vista frontal; (c) Desenho da Placa de Circuito Impresso - Vista Traseira.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A programação foi feita utilizando-se da IDE do Arduino e também das bibliotecas de código que acompanham cada um dos componentes utilizados.

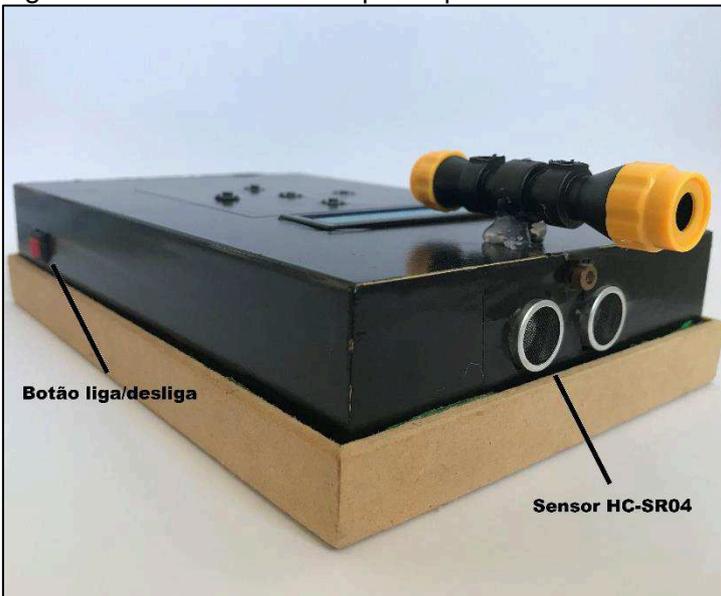
Para a montagem do dispositivo utilizou-se de uma caixa de MDF medindo 24,5 13,5 cm. Nas Figuras 19, 20, 21 e 22 é possível observar a montagem.

Figura 19 – Vista superior do protótipo.



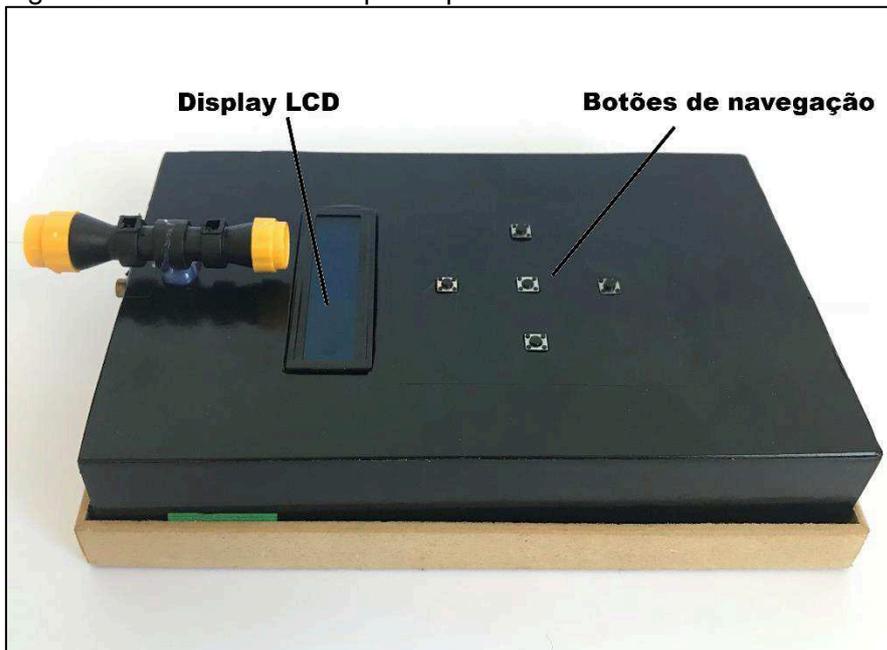
Fonte: O autor.

Figura 20 – Vista frontal do protótipo.



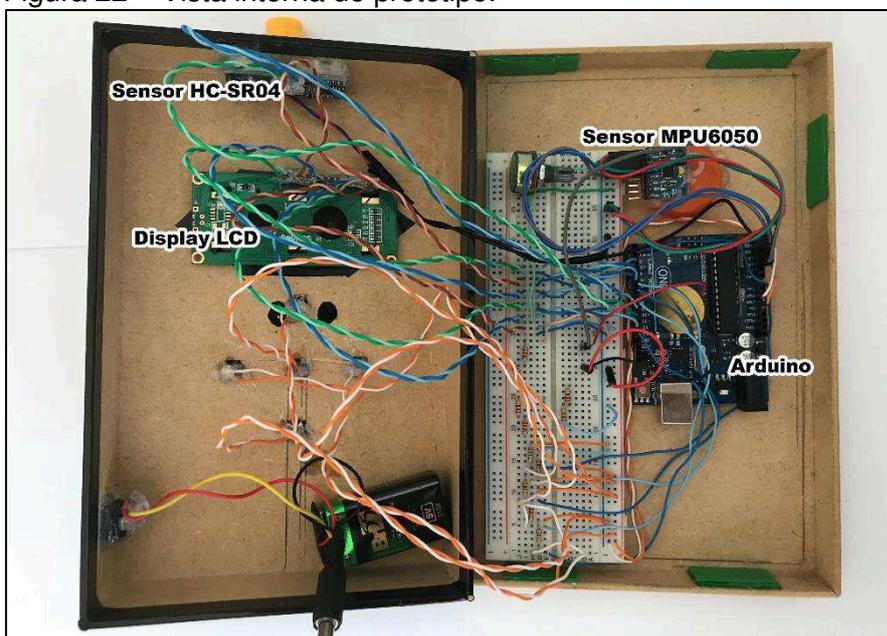
Fonte: O autor.

Figura 21 – Vista lateral do protótipo.



Fonte: O autor.

Figura 22 – Vista interna do protótipo.



Fonte: O autor.

4.2 ÁREA EXPERIMENTAL

Uma das etapas para validação do dispositivo foi realizada na Área Experimental Florestal da UFSC, localizada no km 264 da Rodovia BR470 em Curitibanos-SC. A Fazenda conta com um total de 31,9ha, sendo que destes, 9,2ha estão sendo utilizados para o desenvolvimento de projetos de Produção Florestal, Melhoramento Florestal, Ecologia e Fitossociologia. A fazenda conta ainda com um viveiro para produção de mudas e um arboreto (UFSC, 2019). Os povoamentos para coleta dos dados foram os testes de progênies de *Eucalyptus dunnii* e *Araucaria angustifolia*, ambos implantados em parceria com a EMBRAPA FLORESTAS.

O teste de progênies de Eucalipto é composto por 21 progênies diferentes, em delineamento em blocos ao acaso, sendo 6 blocos. São 126 parcelas de formato retangular, seguindo os princípios do "*Single-tree-plot*", onde cada árvore avaliada tem sua borda formada por árvores da mesma progênie, para evitar eventuais interferências da vizinhança, totalizando nove árvores por parcela. As dimensões da área são de 112 m x 75 m e o espaçamento de plantio é de 2,5 x 2,5 m. Este povoamento foi escolhido visando testar a eficiência do equipamento frente a uma espécie amplamente cultivada em território nacional, que segundo ABRAF (2013) chega a 5.192,03 milhões de hectares.

O teste de progênies de Araucária é composto por 33 blocos (cada linha representa um bloco), e cada árvore representa uma parcela (Teste tipo "*Single-Tree-Plot*"). Cada bloco possui 30 parcelas, ou seja, cada bloco tem 30 progênies, repetidas ao acaso. Este povoamento foi escolhido visando testar a eficiência do dispositivo em povoamentos com menor altura média.

4.3 AMOSTRAGEM

O teste de validação do dispositivo foi realizado em duas etapas. A primeira etapa ocorreu no dia 14 de outubro de 2018, em laboratório e a segunda etapa na Área Experimental Florestal (AEF) no dia 16 de outubro de 2018.

O protótipo foi comparado com 2 (dois) dispositivos diferentes, o Laser Technology TruPulse 200 e Haglof VL5 Vertex Laser.

Para a primeira etapa realizou-se o teste em laboratório utilizando-se de uma régua telescópica de 5m para coletar 15 (quinze) amostras com cada aparelho. Os dados coletados, juntamente com as análises exploratórias, podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados de alturas coletadas em régua Telescópica de 5m para aferição da eficiência dos dispositivos em laboratório.

n	Dispositivo		
	TruPulse	Vertex	Protótipo
1	4,88	4,98	5,04
2	4,91	4,98	4,96
3	4,92	5,00	4,96
4	5,01	4,98	4,89
5	4,97	5,00	4,96
6	4,97	4,98	4,97
7	5,00	4,97	4,97
8	4,98	4,97	4,97
9	4,98	4,97	4,91
10	5,00	4,98	4,97
11	5,00	5,00	4,89
12	4,98	5,00	4,89
13	4,92	4,97	4,97
14	4,91	5,00	5,02
15	4,91	4,98	4,92
\bar{X}	4,96	4,98	4,95
Des. Pad.	0,04	0,01	0,05
Erro (%)	0,88	0,32	0,95

O erro relativo que consta na Tabela 1 foi obtido através da equação (3).

$$e(\%) = \frac{\bar{X} - \mu}{\mu} * 100 \quad (3)$$

Onde μ , é a média real de 5 metros.

Como os valores obtidos em laboratório apresentaram resultados satisfatórios com erros inferiores à 1%, logo deu-se continuidade aos testes.

A segunda etapa consistiu em uma amostragem piloto. Os dados foram coletados na Área Experimental Florestal (AEF) da UFSC. Foram coletadas alturas de 15 (quinze) e 12 (dez) árvores, nos plantios experimentais de *Eucalyptus dunnii* e *Araucaria angustifolia* respectivamente (Tabela 2). A análise exploratória dos dados consta na Tabela 3.

Tabela 2 – Dados de alturas coletadas nos povoamentos de *Eucalyptus dunnii* e *Araucaria angustifolia* com o TruPulse (Tp), Vertex (Vt) e o Protótipo (Pt).

n	<i>E. dunnii</i>			<i>A. angustifolia</i>		
	Tp	Vt	Pt	Tp	Vt	Pt
1	22,8	22,3	25,3	7,8	7,5	6,8
2	23,7	26,3	24,2	8,3	8,7	8,5
3	22,7	24,1	26,5	8,7	8,1	8,7
4	22,3	24,2	27,4	8,9	8,5	8,7
5	22,7	23,3	25,9	5,1	5,6	6,1
6	24,1	24,5	23,1	5,9	5,5	5,2
7	20,2	21,8	29,0	6,1	5,8	5,7
8	21,8	23,6	26,2	7,0	6,8	6,9
9	23,6	22,7	21,6	7,4	7,1	7,3
10	21,8	22,6	27,2	6,9	6,9	7,1
11	24,6	25,0	23,7	7,8	7,4	7,7
12	23,8	25,2	27,9	7,1	6,6	7,1
13	22,9	22,6	26,7	-	-	-
14	25,9	26,2	21,7	-	-	-
15	25,1	25,2	27,5	-	-	-

Tabela 3 – Média da altura total e o desvio padrão da altura total considerando os diferentes aparelhos de medição.

Tratamento	<i>E. dunnii</i>			<i>A. angustifolia</i>		
	n	\bar{X}	s	n	\bar{X}	s
TruPulse	15	23,2	1,4	12	7,2	1,2
Vertex	15	24,0	1,4	12	7,0	1,1
Protótipo	15	25,6	2,3	12	7,1	1,1

Através da amostra piloto utilizando-se da equação (4) foi determinado o número de amostras necessárias para estimar a média populacional com 95% de confiança (Tabela 4).

$$n = \left(\frac{t_{(n,\alpha)} \cdot s}{e} \right)^2 \quad (4)$$

Onde o erro máximo foi definido como sendo 10% da média amostral, com $\alpha=0,05$. t é o valor tabelado, com $n'-1$ graus de liberdade (tamanho da amostra piloto menos um), e probabilidade de erro igual a α , com isso temos que $t_{(14;0,05)}=2,1314$ e $t_{(11;0,05)}=2,1788$ para os platos de *E. dunnii* e *A. angustifolia*, respectivamente. Os valores do desvio padrão amostral (s) constam na Tabela 3.

Tabela 4 – Tamanho da amostra para estimar uma média populacional com 90% de confiança.

	n ideal	
	<i>E. dunnii</i>	<i>A. angustifolia</i>
TruPulse	2	14
Vertex	2	12
Protótipo	4	12

Como $n \leq n'$ não se fez necessário realizar nova coleta, sendo possível prosseguir com as análises.

Para a comparação das médias das alturas foi empregado o teste t , considerando o nível de 5% de significância, aplicando a correção de Bonferroni, com o nível de significância ajustado para $\alpha < 0,016$.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentados na Tabela 5, o valor-p para as comparações feitas duas a duas, considerando os equipamentos como fonte de comparação. Considerando o nível de significância adotado, rejeitamos a hipótese de igualdade entre o Protótipo-Vertex e Protótipo-TruPulse quando utilizados no povoamento de *Eucalyptus dunnii*. Este fato é de provável decorrência das limitações do sensor ultrassônico HC-SR04, que nos impossibilita ficar a uma distância maior que 8 metros do objeto a ser medido. Assim, aumentando e dificultando a angulação da visada, e conseqüentemente aumentando o erro.

Tabela 5 – Valor-p do teste t com correção de Bonferroni para comparações feitas duas a duas no plantio de *Eucalyptus dunnii*.

	Protótipo	TruPulse
TruPulse	0,0017 (≠)	-
Vertex	0,0456 (=)	0,7012 (=)

Para as alturas coletadas no povoamento de *Araucaria angustifolia*, considerando o nível de significância adotado não rejeitamos a hipótese de igualdade entre nenhum dos equipamentos, fato este devido a menor altura média do povoamento, facilitando as mensurações. Na Tabela 6 é possível observar o valor-p para os dados coletados no plantio de *Araucaria angustifolia*.

Tabela 6 – Valor-p do teste t com correção de Bonferroni para comparações feitas duas a duas no plantio de *Araucaria angustifolia*.

	Protótipo	TruPulse
TruPulse	0,9779 (=)	-
Vertex	0,9954 (=)	0,9539 (=)

Utilizando-se da equação (3), e dados de inventários cedidos pelos alunos da disciplina de Práticas Florestais Integradas do 1º semestre de 2018.1, foi estimado o erro relativo para as estimativas. O erro relativo, como pode ser observado na Tabela 7, ainda é satisfatório ficando abaixo de 10%.

Tabela 7 – Erro relativo apresentado pelos equipamentos nos povoamentos de *Eucalyptus dunnii* e *Araucaria angustifolia*, respectivamente.

Tratamento	Erro (%)	
	<i>E. dunnii</i>	<i>A. angustifolia</i>
TruPulse	3,8	1,3
Vertex	0,4	2,7
Protótipo	6,3	2,7

Durante a utilização do protótipo foi possível identificar alguns de seus pontos positivos e negativos. Como ponto positivo destacam-se: A sua velocidade de medição, bem como sua facilidade na obtenção dos dados, bastando apenas caminhar com o aparelho enquanto realiza as medições. Porém uma grande desvantagem é a já citada limitação de distância causada pelo uso de um sensor de curto alcance e o tamanho do protótipo que dificulta o manuseio, este último devido à sua montagem caseira.

A substituição do Sensor Ultrassônico HC-SR04 por outro de maior alcance, apesar de aumentar seu custo, irá garantir uma maior usabilidade e confiabilidade. A elaboração de uma Placa de Circuito Integrado em conjunto com o desenvolvimento de um corpo otimizado para o dispositivo, com a agregação de uma mira óptica são outros fatores importantes para melhorar a qualidade do equipamento.

O custo de fabricação do protótipo, como pode ser visto detalhadamente na Tabela 8, ficou em US\$61,19. Já na Tabela 9, pode-se observar que o custo de produção final ficaria em US\$144,86, já com todas as possíveis melhorias aplicadas. Devemos destacar que não foi levado em consideração custos como mão de obra e demais custos que possam vir a serem gerados durante processos de produção, porém em um possível cenário de comercialização, o preço de venda ainda seria abaixo de outros produtos da categoria.

Tabela 8 – Custo total para a confecção do protótipo do dispositivo.

Material	Und.	Quant.	Custo unitário (USD)	Custo Total (USD)
Jumpers Macho-Fêmea	Pacote c/ 40	1	4,34	4,34
Jumpers Macho-Macho	Pacote c/ 41	1	4,34	4,34
Jumpers Fêmea-Fêmea	Pacote c/ 42	1	4,34	4,34
Estanho em fio para solda	Tubo c/ 25g	1	2,13	2,13
Arduino Uno R3	-	1	14,64	14,64
Sensor HC-SR04	-	1	3,32	3,32
Acelerômetro MPU-6050	-	1	5,89	5,89
Diodo Laser 5 v	-	1	1,26	1,26
Display LCD 16x2	-	1	4,86	4,86
Protoboard	-	1	5,11	5,11
Potenciômetro 10 K Ω	-	1	0,61	0,61
Push Button	-	5	0,23	1,15
Ferro de solda 80 W	-	1	7,66	7,66
Caixa em MDF	-	1	1,54	1,54
TOTAL				61,19

Tabela 9 – Custo total estimado para a fabricação da versão final do dispositivo.

Material	Und.	Quant.	Custo unitário (USD)	Custo Total (USD)
Estanho para solda	Tubo c/ 25g	1	2,13	2,13
Arduino Uno R3	-	1	14,64	14,64
Laser Sensor Module	-	1	58,96	58,96
Acelerômetro MPU-6050	-	1	5,89	5,89
Diodo Laser 5 v	-	1	1,26	1,26
Display LCD 16x2	-	1	4,86	4,86
Protoboard	-	1	5,12	5,12
Potenciômetro 10 K Ω	-	1	0,61	0,61
Push Button	-	5	0,23	1,15
Luneta	-	1	12,58	12,58
Ferro de solda 80 W	-	1	7,66	7,66
Carcaça plástica	-	1	17,68	17,68
Placa de Circuito Impresso		1	12,32	12,32
TOTAL				144,86

6 CONCLUSÃO

Conclui-se que o equipamento construído a partir da plataforma Arduino apresentou bom desempenho, com erros menores de 10%, mesmo sendo apenas um protótipo. Apesar de algumas limitações, como sua utilização à curta distância e dificuldade de manuseio, o protótipo foi capaz de trazer resultados significativos quando comparado com equipamentos já consolidados no mercado.

Ainda há a necessidade de ajustes e melhorias, porém é seguro concluir que o dispositivo apresenta enorme potencial como equipamento de medição florestal de baixo custo.

REFERÊNCIAS

- ABRAF. **Anuário estatístico abraf ano base 2005-2013**. Brasília, 2013.
- ARAÚJO, E. **Dendrometria**. 2012.
- ARAÚJO, H. J. B. de. **Inventário florestal a 100% em pequenas áreas sob manejo florestal madeireiro**. Acta Amazonica, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, v. 36, n. 4, p. 447–464, dec 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672006000400007&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 29 abr. 2017.
- FREITAS, L. J. M. de et al. Análise técnica e estimativas de custos de inventário de prospecção em uma floresta estacional semidecidual submontana. **Revista Árvore**, Sociedade de Investigações Florestais, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 65–75, feb 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622005000100008&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 18 maio 2017.
- HACHOUCHE, A. S. **Apostila Arduino básico**. Minas Gerais, 2016. v. 1.0. Disponível em: <<https://www.eletrogate.com/pagina/blog-e-apostila.html>>. Acesso em: 15 abr. 2017.
- LAAR, A. V.; AKÇA, A. **Forest mensuration**. Dordrecht: Springer: Springer Science & Business Media, 2007. Disponível em: <<http://www2.ca.uky.edu/forestry/for250/ForestMensurationbook.pdf>>. Acesso em: 21 abr. 2017.
- MACHADO, S.; FILHO, A. F. **Dendrometria**. 2a edição. Guarapuava: Unicentro, 2006.
- RIBEIRO, E. A. W. **Cadernos de biogeografia: Técnicas de mensuração em espécies arbóreas**. Presidente Prudente: Azimute, 2011. Disponível em: <http://www.acszanzini.net/wp-content/uploads/material/apostilas/APOSTILA_DE_MENSURAÇÃO_FLORESTAL.pdf>. Acesso em: 01 maio 2017.
- SILVA, J. A. A. da; NETO, F. d. P. **Princípios básicos de dendrometria**. [S.l.]: UFRPE, 1979.
- SILVA, J. da.; NETO, F. d. P. **Princípios básicos de dendrometria**. Recife: **Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Ciência Florestal**, 1979.
- UFSC. **Engenharia Florestal: Fazenda experimental/arboreto**. 2018. Disponível em: <<http://engenhariaflorestal.ufsc.br/fazenda-experimental/>>. Acesso em: 11 jun. 2018.
- ULISSES, S. d. C. **Dendrometria e inventário florestal**. Manaus, p. 61, 2004. Disponível em: <<https://engenhariaflorestal.jatai.ufg.br/up/284/o/dendroinv.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2017.

VARANIS, M. et al. Instrumentation for mechanical vibrations analysis in the time domain and frequency domain using the arduino platform. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 38, 2016.