



Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Engenharia Aeroespacial, Eletrônica, Energia, Software

**Bancada Didática para Princípios de Controle:  
Controlador Interativo para Elevação de  
Plataforma por Impulsão Eólica.**

Autores: Grupo A - Turma D

Orientador: Prof. Dr. Diogo Caetano Garcia

Brasília, DF

2019





Grupo A - Turma D

**Bancada Didática para Princípios de Controle:  
Controlador Interativo para Elevação de Plataforma por  
Impulsão Eólica.**

Documento referente ao Ponto de Controle  
1 da disciplina de Projeto Integrador 1, da  
Universidade de Brasília.

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Prof. Dr. Diogo Caetano Garcia

Coorientador: Profs. Drs Artur Bertoldi, Carla Anflor, Paula Meyer e  
Ricardo Ajax

Brasília, DF

2019

# Resumo

Este documento é a proposta de projeto realizado na matéria projeto integrador para engenharias realizada no período 1/2019. O projeto tem o objetivo de fornecer experiências práticas aos alunos da Universidade de Brasília, da Faculdade do Gama, na matéria de Princípios de controle, por meio da utilização de um sistema didático de um elevador que seja controlado por meio da impulsão por vento, onde o aluno poderá alterar os parâmetros do controlador, alterando a resposta do sistema.

**Palavras-chaves:** Educação para Engenharia; Sistemas de Controle; Bancada Didática.

# Lista de ilustrações

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Exemplo simplificado de um Sistema de Controle. . . . .                        | 10 |
| Figura 2 – Diagrama de Blocos de um sistema em malha fechada. . . . .                     | 10 |
| Figura 3 – Esquemático fonte linear. . . . .  | 12 |
| Figura 4 – Etapas de trabalho da área de Estrutura. . . . .                               | 13 |
| Figura 5 – Diagrama de blocos do projeto. . . . .   | 14 |
| Figura 6 – Diagrama de blocos do projeto, com atuação de Processamento de Sinais. . . . . | 15 |
| Figura 7 – Diagrama de blocos de sistema com controlador PID. . . . .                     | 17 |
| Figura 8 – Tabela de Preço de Sensores de Distância . . . . .                             | 20 |
| Figura 9 – Pinagem ESP32. . . . .   | 21 |
| Figura 10 – Tabela de Riscos, Impactos e Prevenção. . . . .                               | 23 |
| Figura 11 – Conograma gerado pelo TeamGantt. . . . .                                      | 27 |
| Figura 12 – Lista de atividades gerada pelo TeamGantt, parte 1. . . . .                   | 28 |
| Figura 13 – Lista de atividades gerada pelo TeamGantt, parte 2. . . . .                   | 29 |
| Figura 14 – Modelo de Negócios <i>Canvas</i> . . . . .                                    | 31 |
| Figura 15 – Estrutura Analítica de Projetos. . . . .                                      | 33 |

# Lista de tabelas

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Equipe e Áreas de Atuação . . . . .                | 19 |
| Tabela 2 – Tabela de custos de aquisição . . . . .            | 21 |
| Tabela 3 – Softwares estabelecidos para uso e preços. . . . . | 22 |

# Lista de abreviaturas e siglas

|      |                                    |
|------|------------------------------------|
| ABS  | Anti-lock Braking System           |
| UnB  | Universidade de Brasília           |
| FGA  | Faculdade Gama                     |
| PID  | Proporcional Integral Derivativo   |
| PI   | Proporcional Integrativo           |
| PD   | Proporcional Derivativo            |
| PWM  | Pulse Width Modulation             |
| TCP  | Transmission Control Protocol      |
| IP   | Internet Protocol                  |
| HTML | HyperText Markup Language          |
| RF   | Requisito Funcional                |
| RNF  | Requisito Não Funcional            |
| MDF  | Medium-Density Fiberboard          |
| EPI  | Equipamento de Proteção Individual |
| EPS  | Poliestireno Expandido             |
| EPP  | Polipropileno expandido            |
| IR   | Infravermelho                      |
| GPIO | General Porpouse IN/OUT            |
| I2C  | Inter-Integrated Circuit           |





# Sumário

|            |                                       |           |
|------------|---------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO</b>                     | <b>9</b>  |
| <b>1.1</b> | <b>Descrição</b>                      | <b>10</b> |
| <b>1.2</b> | <b>Justificativas</b>                 | <b>10</b> |
| <b>1.3</b> | <b>Objetivos</b>                      | <b>11</b> |
| 1.3.1      | Gerais                                | 11        |
| 1.3.2      | Específicos                           | 12        |
| <b>1.4</b> | <b>Organização do Trabalho</b>        | <b>12</b> |
| 1.4.1      | Subárea: Alimentação e Estrutura      | 12        |
| 1.4.1.1    | Alimentação                           | 12        |
| 1.4.1.2    | Estrutura                             | 13        |
| 1.4.2      | Subárea: Modelagem matemática         | 13        |
| 1.4.3      | Subárea: Processamento de Sinais      | 14        |
| 1.4.4      | Subárea: Sensoriamento                | 15        |
| 1.4.5      | Subárea: Servidor WEB                 | 15        |
| <b>2</b>   | <b>DESENVOLVIMENTO</b>                | <b>17</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Referencial Teórico</b>            | <b>17</b> |
| <b>2.2</b> | <b>Metodologia</b>                    | <b>17</b> |
| 2.2.1      | Equipes e Partes Interessadas         | 18        |
| 2.2.1.1    | Equipe                                | 18        |
| 2.2.1.2    | Usuários                              | 18        |
| 2.2.1.3    | Clientes                              | 18        |
| 2.2.2      | Materiais, equipamentos e aplicações  | 19        |
| 2.2.2.1    | Estrutura                             | 19        |
| 2.2.2.2    | Sensor                                | 20        |
| 2.2.2.3    | Microcontrolador                      | 20        |
| 2.2.3      | Análise de Custos                     | 21        |
| 2.2.3.1    | Custo de aquisição                    | 21        |
| 2.2.3.2    | Comunicação, Gerenciamento e produção | 21        |
| 2.2.3.3    | Custo Total Estimado                  | 21        |
| <b>2.3</b> | <b>Requisitos</b>                     | <b>22</b> |
| 2.3.1      | Requisitos Funcionais                 | 22        |
| 2.3.2      | Requisitos Não-Funcionais             | 22        |
| <b>2.4</b> | <b>Análise de Riscos</b>              | <b>22</b> |
| <b>2.5</b> | <b>Cronograma e marcos</b>            | <b>23</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>REFERÊNCIAS</b>                                  | <b>25</b> |
| <b>APÊNDICE A – CRONOGRAMA</b>                      | <b>27</b> |
| <b>APÊNDICE B – <i>BUSINESS MODEL CANVAS</i></b>    | <b>31</b> |
| <b>APÊNDICE C – ESTRUTURA ANALÍTICA DE PROJETOS</b> | <b>33</b> |

# 1 Introdução

Sistemas de controle estão presentes em inúmeras aplicações na sociedade moderna: Chuveiros eletrônicos, geladeira, freio ABS, controle de estabilidade, controle de altitude de satélites, controle de órbita, placas fotovoltaicas que seguem a posição do Sol, entre outros. Tendo em vista as aplicações desta área de conhecimento, a disciplina de Sistema de Controle é ministrada na Graduação de diversas Engenharias, visando que os estudantes obtenham os conhecimentos iniciais.

Na Universidade de Brasília, UnB, campus Faculdade do Gama, FGA, as disciplinas de Sistemas de Controle e Princípios de Controle são ministradas para os cursos de Engenharia Aeroespacial e Eletrônica e Sistemas de Controle Automotivos para Engenharia Automotiva, com o objetivo de propiciar as primeiras ferramentas para a análise e síntese de sistemas de controle automáticos, existe ainda a disciplina de Projeto de Sistemas de Controle, que busca aprofundar os conhecimentos obtidos nas anteriores.

O conceito de sistema de controle para a Engenharia é definido como um conjunto de subsistemas e processos projetados com o objetivo de obter a saída desejada com um desempenho estabelecido por meio da manipulação da entrada, com pouca ou nenhuma intervenção humana.

Quando se trata de um projeto de um sistema de controle duas medidas de desempenho são evidenciadas: a resposta transitória e o erro em regime permanente. Por exemplo: um elevador deve subir e descer os andares de forma que não perturbe o passageiro e ao mesmo tempo não demore muito tempo para chegar no andar desejado (resposta transitória e tempo de subida), enquanto que ao chegar no andar desejado, o elevador deve ainda estar nivelado com o piso o suficiente para não ter nenhum potencial de ser nocivo ao passageiro (erro em regime).

Algumas definições(OGATA, 2011):

- Plantas: Uma é um conjunto de componentes que agem de maneira integrada para a realização de uma determinada tarefa. É aquilo que deve ser controlado
- Variável controlada: É a grandeza ou a condição aferida e controlada.
- Sinal de controle: É a grandeza modificada pelo controlador, buscando modificar o valor da variável controlada.

O sistema da Figura 1, é denominado de malha aberta, sua construção é mais simples, mais barata e mais conveniente para sistemas com saídas de difícil acesso, se comparado ao sistema de malha fechada, Figura 2, já esse por ter realimentação consegue

suprir as desvantagens de um sistema de malha aberta, sendo viável para sistemas instáveis e compensando o efeito de perturbações com a comparação entre saída e sinal de referência.

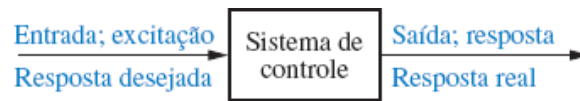


Figura 1 – Exemplo simplificado de um Sistema de Controle.

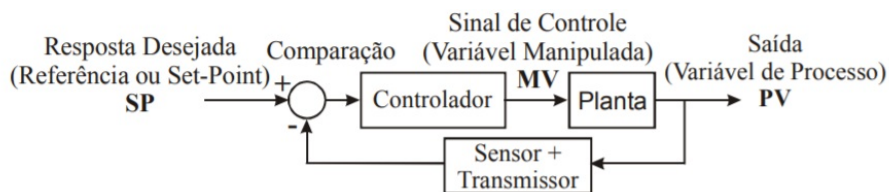


Figura 2 – Diagrama de Blocos de um sistema em malha fechada.

## 1.1 Descrição

O projeto consiste em um modelo de um sistema de controle de um elevador impulsionado por vento. Através do controle do sistema de ar será controlada a altura de uma dada superfície pela alternância de constantes realizada pelos alunos, será possível ter uma resposta imediata e visual às variações impostas pelo sistema de controle didaticamente.

## 1.2 Justificativas

Perante o tema proposto relacionado a “Ensino para Engenharia” com ênfase para os alunos de engenharia da Faculdade Gama - UnB, foi discutido quais disciplinas possuem uma carência em relação a formas práticas e didáticas de ensino.

Tendo em vista a disciplina de Sistemas de Controle, que teve a sua quantidade de créditos ampliada, sendo substituída por Princípios de Controle, no intuito de oferecer aulas práticas, que possuem algumas características pouco exploradas ou ainda inexistentes em aulas teóricas, tais como a percepção das diferenças entre simulação e aplicação real e a capacidade de despertar uma habilidade criativa e de gerar conhecimentos práticos e aplicáveis à indústria, o que, por sua vez, se torna cada vez mais necessário no mercado de trabalho.(MARCOS, 2005).

Porém o laboratório ainda se encontra com material escasso, desprovido de bancadas de ensino o que impossibilita a validação prática dos conceitos teóricos aprendidos em sala de aula, sendo a prática realizada unicamente com simulações computacionais.

Usualmente, as atividades práticas desta disciplina buscam que o aluno desenvolva controladores para plantas já existentes, buscando analisar a diferença de desempenho ao adicionar controladores, alterando-se os coeficientes e tipo de controlador ou simplesmente fechando a malha do sistema, por exemplo.

A ementa da disciplina de Controle Dinâmico, com a ementa teórica bastante parecida com a ementa de Sistemas de Controle, ministrada na UnB campus Darcy Ribeiro comprova:

- Implementação de Controladores Analógicos: Realização de controladores analógicos utilizando amplificadores operacionais.
- Controle Dinâmico de Sistemas Físicos em laboratório: Controle de processos físicos por compensação dinâmica com controladores projetados no domínio-s, no domínio-w. Controladores PID. Controle de processos físicos por realimentação de estado.
- Métodos Computacionais em Controle Dinâmico: Aplicação de métodos computacionais no controle dinâmico de sistemas lineares contínuos no tempo.
- Experiências Demonstrativas: Servomecanismo Posicionado com Controle Lógico e Sensor Óptico/Digital. Automação de Testes e Medidas no Laboratório de Controle Servomecanismos Especiais.

Diante disso foi decidido pelo grupo a ideia de construir um modelo prático que explore o conceito de controladores PID (Proporcional Integral Derivativo), conteúdo este que agrega bastante valor aos alunos devido ao fato de que possui inúmeras aplicações na indústria. Desse modo é esperado que este modelo sirva como forma de incentivo e aprendizado para os alunos. Com o intuito de que, após o término do projeto, este modelo servirá como bancada de ensino. Sendo utilizado para exemplificações e estudos para as disciplinas de Controle da FGA.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Gerais

De acordo com SENAI : “todo projeto deve possuir objetivos que justifiquem a sua existência e que sirvam de norte para os trabalhos que serão desenvolvidos”,(SILVA; CIM, 2012). Sendo assim este trabalho tem como objetivos o aprimoramento da matéria de sistemas de controle/princípios de controle no que se diz respeito à experiência laboratorial.

### 1.3.2 Específicos

Para alcançar tais resultados construiremos uma planta de sistema de controle com os parâmetros do controlador PID editáveis para que, após a realização dos cálculos, possa-se ver na prática o resultado do controlador num sistema real.

## 1.4 Organização do Trabalho

### 1.4.1 Subárea: Alimentação e Estrutura

#### 1.4.1.1 Alimentação

O mundo atual está cheio de aparelhos eletrônicos. De tal forma que estão presentes em quase tudo que existe ao nosso redor. Esses aparelhos especialmente os celulares, computadores, tablets e outros dispositivos eletrônicos, precisam de uma fonte de tensão para que eles sejam alimentados.

Sendo assim, a sub área de alimentação surgiu para suprir uma necessidade do nosso projeto, na qual temos que fornecer energia para os componentes pré requisitados pelas outras áreas. Fontes de alimentação são circuitos capazes de fornecer uma tensão. Portanto, são dispositivos reais que possuem o intuito de garantir uma melhor qualidade de operação do circuito que a utiliza.

As fontes de alimentação possuem a capacidade de prover energia elétrica, transformando a corrente alternada da rede pública em corrente contínua. Além disso, possuem a capacidade de estabilizar a tensão, ou seja, mesmo que a tensão da rede pública varie, a fornecida pela fonte de alimentação é mantida aproximadamente constante.

Neste projeto iremos usar uma fonte linear, na qual é normalmente composta por um transformador, retificador, filtro, circuito de controle, sendo que este circuito é utilizado em aparelhos que consomem pouca energia. A Fig. (3) representa o diagrama de blocos simplificado deste tipo de fonte. A fonte linear é constituída por quatro partes

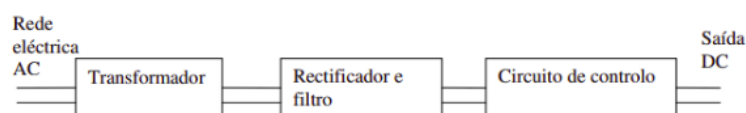


Figura 3 – Esquemático fonte linear.

básicas:

- O transformador que converte a tensão alternada da rede numa tensão alternada, normalmente mais baixa e adequada ao nível de tensão alternada que se deseja;

- O retificador e o filtro transformam a tensão alternada, obtida na saída do transformador, em tensão contínua;
- O circuito de controlo mantém a tensão de saída constante e estabilizada, mesmo quando há variações de tensão na rede ou é solicitada mais corrente à fonte.

#### 1.4.1.2 Estrutura

A subárea Estrutura foi criada com o intuito de assumir a responsabilidade de confeccionar a estrutura física em que o projeto irá ser montado. Para concebê-la, o processo de criação foi dividido em quatro etapas, sendo estas, coleta de especificações dada por outras áreas, modelagem 3D, escolha de materiais e confecção. A Fig. (4)

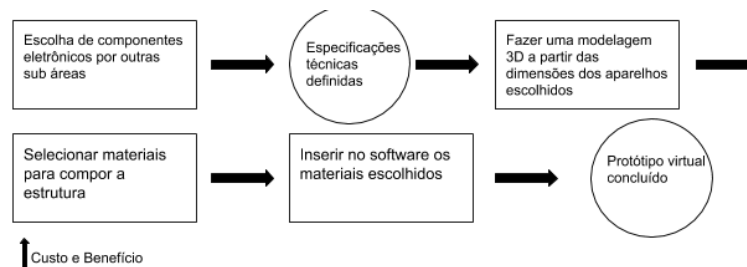


Figura 4 – Etapas de trabalho da área de Estrutura.

Durante a primeira etapa, receberemos as necessidades e especificações dos componentes eletrônicos usados em outras subáreas para que possamos dimensionar a estrutura.

Sendo assim, podemos seguir com a segunda etapa, na qual a estrutura será desenvolvida no programa Catia V5, seguindo essas especificações previamente estabelecidas.

Já na terceira etapa serão selecionados os materiais, que devem atender os requisitos para um bom funcionamento do projeto, que no caso são a formação de uma estrutura rígida e resistente, tendo em vista que esta irá suportar os componentes eletrônicos do sistema de controle, além de também servir para isolar a parte do tubo de vento, que irá regular a altura do objeto flutuante, com o ambiente externo a fim de evitar interferências no sistema.

E por último, os materiais devem ser dimensionados e agrupados seguindo o projeto desenvolvido no software 3D para então iniciar a produção da estrutura e entregar o produto final.

#### 1.4.2 Subárea: Modelagem matemática

Diante da solução proposta de construir uma bancada para auxiliar o entendimento dos alunos em sistemas de controle, tem-se um dos principais desafios a modelagem ma-

temática. Esta, por sua vez, tem a principal função de traduzir o sistema real para um sistema matemático de equações, onde será possível trabalhar a teoria de sistemas de controle.

Para tanto, montou-se o esquemático mostrado na Fig. (5). Foi traçada tal estratégia baseada na teoria de sistemas de controle, onde uma malha fechada é utilizada para realimentar informação no sistema, proporcionando uma melhor resposta para a variável desejada. A principal tarefa da equipe será desenvolver o controlador PID capaz de con-

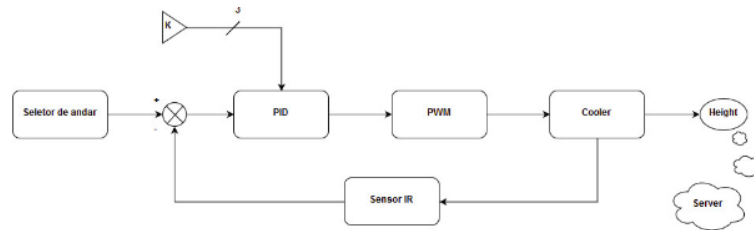


Figura 5 – Diagrama de blocos do projeto.

trolar a altura da plataforma alterando a intensidade com a qual o PWM alimentará a ventoinha.

### 1.4.3 Subárea: Processamento de Sinais

A classificação desta subárea foi definida a partir da necessidade de tratar os dados analógicos do mundo real dentro do campo digital para processamento destes no microcontrolador escolhido e de gerar um sinal de resposta aos dados analógicos. De acordo com a Figura abaixo podemos visualizar no corpo do projeto, os blocos destacados em vermelho, as partes responsáveis pela subárea processamento de sinais. Portanto há a divisão dessa subárea em duas principais funções.

A primeira função consiste em realizar o processo de conversão das entradas analógicas dos blocos 1 e 2 da Fig.(6), em valores digitais a serem lidos pelo microcontrolador ESP32 onde é configurado o controlador PID. As entradas analógicas a serem convertidas no bloco 1 e 2 respectivamente são, as três constantes de controle que serão valores gerados a partir de um potenciômetro e um valor de entrada referente ao andar desejado para o controlador.

A segunda função se refere ao bloco 3, que é definido pela implementação de um gerador de sinal PWM a ser enviado para o *cooler* que fará a elevação do peso, a partir da resposta do controlador PID. A partir dessas funções, os perfis dos membros da subárea foi traçado de modo que o grupo apresente conhecimento sólido nas áreas de sinais analógicos, sinais discretos, conversões A/D, sistemas microprocessados e circuitos osciladores; a formação do grupo é bem sucedida nesse aspecto



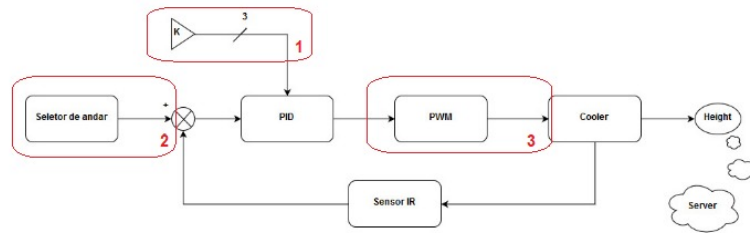


Figura 6 – Diagrama de blocos do projeto, com atuação de Processamento de Sinais.

#### 1.4.4 Subárea: Sensoriamento

Para o controle do protótipo proposto, se faz necessário a utilização de sensores para a aquisição de dados, como a altura. Sendo assim, é necessário uma pesquisa de mercado dos diversos tipos de sensores que atendam os requisitos do escopo e que também tenham o melhor custo benefício associado para que assim possa ser feita a escolha do sensor.

Podemos pontuar algumas atividades da área de sensoriamento:

1. Levantar sensores com as especificações necessárias e seus respectivos custos;
2. Proporcionar ao controlador o feedback, ou seja, a realimentação dos dados medidos através do sensor. Estes têm a funcionalidade de proporcionar ao sistema de controle a capacidade de se adaptar à nova medida recebida.
3. Fazer os devidos testes para o sensor escolhido em um ambiente semelhante ao do protótipo final, visando validar e calibrar as medições.
4. Projetar filtros e algoritmos para tratar o sinal dos sensores, visando suprimir o ruído contido nas medições.

#### 1.4.5 Subárea: Servidor WEB

Do que se trata? Se trata de um servidor que irá receber dados da ESP e gerar informações úteis aos usuários a partir desses dados. A comunicação entre o microcontrolador e o servidor se dá por meio do envio de eventos, alarmes, comandos e respostas, que reúnem todas as informações e as exibe ao usuário. Serão gerados gráficos e relatórios que irão descrever o comportamento do sistema em tempo real. Esses dados poderão ser acessados a partir de computadores, celulares e afins.

Qual o objetivo dentro do sistema de controle? Essa sub área é referente a criação do Servidor WEB usando HTML, TCP/IP e Javascript no ESP32, NodeMcu, para plotagem de gráficos referentes variações impostas às variáveis de controle que influenciam o

sensor de distância. Nesse servidor web, os gráficos serão fornecidas pelo Mcu através da conexão da internet e serão exibidos através de uma interface gráfica.

Quais tecnologias serão necessárias para o desenvolvimento?

- **HTML:** Será utilizada pois se trata de uma linguagem de marcação de texto designada para desenvolver e definir o layout de um website.
- **Transmission Control Protocol/Internet Protocol(TCP/IP):** Trata-se de um conjunto de protocolos de comunicação entre computadores. Esse serviço será utilizado, pois, ele pode ser visto como um conjunto de camadas, onde cada camada é responsável por um grupo de tarefas, trazendo assim, um conjunto de serviços bem definidos.
- **Java Script:** O Java script será utilizado para, juntamente com o HTML, definir e realizar a plotagem dos gráficos. Esses gráficos serão feitos a partir das bibliotecas que o JS oferece.
- **Cascading Style Sheets:** Ferramenta utilizada para personalização da plataforma de interação com usuário. Cujo objetivo abrange possibilitar uma melhor visualização dos dados de forma mais intuitiva, direta e organizada.

## 2 Desenvolvimento

### 2.1 Referencial Teórico

Visando atender às matérias beneficiadas da melhor maneira possível, optou-se por implementar um controlador PID, devido sua composição, como o próprio nome sugere, ele é a junção de um Controlador Proporcional, um Controlador Proporcional Integrativo (PI) e um Controlador Proporcional Derivativo (PD).

Devido à combinação dessas técnicas de projeto, o PID proporciona uma melhoria no erro em regime permanente e na resposta transitória independentemente. Basicamente, melhoramos a resposta transitória utilizando um PD. Então melhoramos o erro em regime permanente desse sistema compensado aplicando um PI. Uma desvantagem dessa abordagem é a pequena redução na velocidade da resposta quando o erro em regime é melhorado (NISE, 2017).

De maneira geral, um controlador PID tem sua função de transferência (domínio de Laplace) descrita na Eq. (2.1).

$$G_c(s) = K_1 + \frac{K_2}{s} + K_3 \cdot s \quad (2.1)$$

E de forma esquemática, um controlador PID sendo utilizado em um sistema em malha fechada pode ser representado como na Fig. (7):

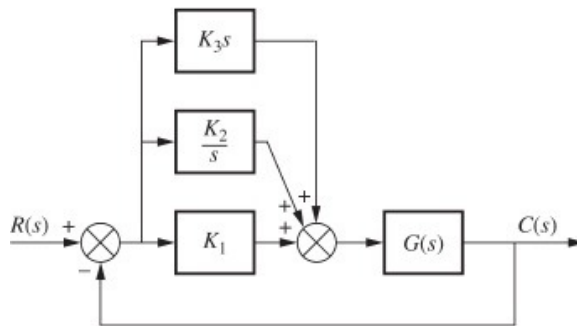


Figura 7 – Diagrama de blocos de sistema com controlador PID.

### 2.2 Metodologia

Dado a grande quantidade de pessoas envolvidas neste projeto surge a necessidade da adoção de algum método organizacional, caso contrário diversos problemas podem começar a surgir devido essa falta de comunicação e desorganização dos processos.

Tentando buscar a melhor maneira possível concluir o projeto, com o menor uso dos recursos e entregando a melhor qualidade, irar se fazer o uso de duas ferramentas: a Estrutura Analítica de Projetos (EAP)(Apendice C) e o *Business Model Canvas* (Apendice B).

A EAP possui diversas características que facilitarão o acompanhamento do projeto, na qual podemos citar:

- Uma decomposição hierárquica orientada à entregas.
- Subdivisão do trabalho do projeto em partes menores e mais facilmente gerenciáveis.
- Auxílio às partes interessadas na visualização das entregas.

A junção de tais qualidades fez com que um grande valor fosse agregado ao nosso trabalho, devido a tais fatores e juntamente com os possíveis problemas que podem ser evitados, a escolha na adoção de uma EAP foi tomada.

Como se trata de um projeto que visa a criação de um produto, deve-se sempre ter em vista o meio em que tal objeto será inserido e o impacto causado pelo o mesmo. Dado tal fato, o *Business Model Canvas* deve ser acrescentado a EAP para que o grupo não perca a visão do impacto que será causado pelo projeto.

Com a junção dessas duas ferramentas o processo de visualização do caminho do projeto é esclarecido cumprindo assim o objetivo da escolha de uma metodologia.

## 2.2.1 Equipes e Partes Interessadas

### 2.2.1.1 Equipe

A divisão da equipe nas subáreas esta descrita na Tab. (1), o papel de Gerente foi designado ao membro João Paulo Sanches e a sub-gerência, papel inserido como forma de não haver sobrecarga do gerente, para Felipe Alcântara.

### 2.2.1.2 Usuários

Alunos de sistemas de controle da Universidade de Brasília.

### 2.2.1.3 Clientes

Universidades que possuem laboratórios com foco nas matérias de Controle, tanto digital quanto analógico, vendedores de bancadas didáticas e alunos que fazem a disciplinas focadas em Controle.

| Nome                | Área de Atuação(1)                     | Área de Atuação(2)      |
|---------------------|--|-------------------------|
| João Paulo Sanches  | Gerente Modelagem Matemática           | Sensoriamento           |
| Felipe Alcântara    | Gerente de Processamento de Sinais     | Modelagem Matemática    |
| Guilherme Simões    | Estrutura e Alimentação                | Processamento de Sinais |
| Gustavo Linhares    | Modelagem Matemática                   | Estrutura e Alimentação |
| Paloma Fachinelli   | Estrutura e Alimentação                | — — —                   |
| Eugênio Sales       | Gerente de Servidor web                | Sensoriamento           |
| Felipe Moreno       | Sub-gerente de Estrutura e Alimentação | Modelagem Matemática    |
| Caio César          | Servidor web                           | Sensoriamento           |
| Gustavo Nogueira    | Servidor web                           | Sensoriamento           |
| Bruno Henrique      | Servidor web                           | Sensoriamento           |
| Lourenço Mphili     | Gerente de Estrutura e Alimentação     | Processamento de Sinais |
| Misael Andrade      | Modelagem Matemática                   | Processamento de Sinais |
| Lucas Fellipe       | Servidor web                           | Processamento de Sinais |
| Luiz Henrique Nunes | Gerente de Sensoriamento               | Estrutura e Alimentação |
| Yuri                | Processamento de Sinais                | Estrutura e Alimentação |

Tabela 1 – Equipe e Áreas de Atuação

## 2.2.2 Materiais, equipamentos e aplicações

### 2.2.2.1 Estrutura

Para a escolha do material da estrutura foi ponderado custo e qualidade do produto e diante das possibilidades de compensado, MDP, MDF foi escolhido o material MDF (Medium-Density Fiberboard) por ser um material uniforme, plano e denso. O MDF possui consistência e algumas características mecânicas que se aproximam às da cortiça. Algumas de suas características são superiores às do aglomerado, caracterizando-se ambos por possuir boa estabilidade e grande capacidade de adsorção de tinta.

Outro material que será usado é o acrílico devido a sua resistência ao impacto, baixa tendência à fragmentação, fácil manuseamento e por ser um material cristalino para atuar como visor do sistema. Um outro material que foi analisado para a mesma função foi o vidro que possui uma rigidez de 1,5 a 2,5 maior que o acrílico, no entanto devido a seu perfil quebradiço e por ser difícil de realizar cortes e furos no mesmo, este foi desqualificado para o projeto.

Para a estrutura da plataforma flutuante é necessário usar um material rígido, que não se deforme com a força do vento, e leve, logo optou-se por usar EPS (Poliestireno Expandido) ou EPP (Polipropileno expandido) pois ambos são leves e possuem fácil manuseabilidade, sendo que, o EPS é mais leve e o EPP possui maior resistência. Para o manuseio dos materiais e na construção da estrutura serão usados: serra elétrica circular, lixas, cola para madeira, furadeira, parafusos, arruelas, porcas, fita isolante, fixador de cabo e chaves *phillips*. Além de EPIs (Equipamento de Proteção Individual) como luvas,

óculos de proteção e máscara.

#### 2.2.2.2 Sensor

Um aspecto crucial em nosso projeto é a escolha do sensor, pois é através dele que toda a geração dos dados é feita. Então fatores como taxa de atualização e alcance do sensor ditarão o nível de qualidade do produto como um todo.

Atualmente no mercado, existe uma grande diversidade de sensores de distância no qual podemos separar em três tipos, em relação de como é feita a medição: os que utilizam ultrassom ou infravermelho (IR) e os que realizam a medição por laser. No nosso caso utilizaremos o último mostrado na Fig. (8), pois, sensores ultrassônicos podem sofrer interferência pelas correntes de ar geradas pelo *cooler* o que acabaria com a veracidade dos dados em nossa aplicação.

| Tipo do sensor | Modelo do sensor | Preço     | Range de operação | Tipo de saída | Precisão | Taxa de atualização |
|----------------|------------------|-----------|-------------------|---------------|----------|---------------------|
| IR             | GP2Y0A21Y K0F    | R\$ 42,00 | 10cm - 80cm       | Analógica     | --       | 26Hz                |
| LASER          | GY-530 VL53L0X   | R\$ 41,50 | 0cm - 200cm       | Digital       | 5 cm     | até 400kHz          |
| LASER          | VL53L0x Adafruit | R\$ 69,00 | 30 mm _ 1 m       | Digital       | 30mm     | até 400kHz          |

Figura 8 – Tabela de Preço de Sensores de Distância

#### 2.2.2.3 Microcontrolador

Devido aos requisitos estabelecido na Seção 2.3, é evidenciado que o microprocessador de trabalho precisa contar com pinos GPIO, PWM, padrão  $I_2C$  e conversores A/D. Além disso, o produto efetuará uma sincronização de dados com um servidor web, deste modo, precisa possuir um módulo de comunicação WI-FI. Além disso para melhor design estrutural se torna necessário que o mesmo não ocupe muito espaço. Realizando-se a pesquisa de mercado e tentando ainda se adequar as características da equipe o microcontrolador escolhido foi o ESP32, que supre todos os requisitos estabelecidos, Fig. (9).

A placa que será utilizada será a NodeMCU, pois existe integração com o Arduino IDE e PlatformIO, facilitando programação e com varias suporte a diversa bibliotecas do Arduino,(CURVELLO, 2018).

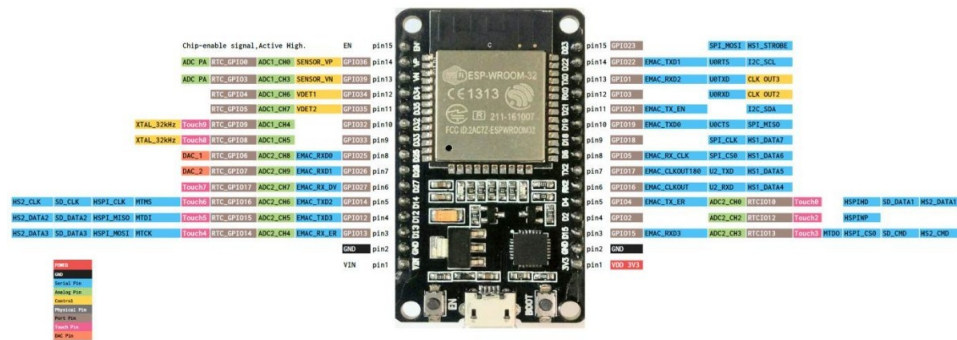


Figura 9 – Pinagem ESP32.

## 2.2.3 Análise de Custos

### 2.2.3.1 Custo de aquisição

Os custos de aquisição previstos no dado momento do projeto, estão dispostos na Tab. (2), podendo estes ser alterado no decorrer da produção.

| Equipamento/Serviço       | Quantidade     | Valor unitário     | Valor total |
|---------------------------|----------------|--------------------|-------------|
| Cooler (12x12)            | 1              | R\$16, 50          | R\$16, 50   |
| Placa de EPS (isopor)     | 1              | R\$0, 0009/ $cm^3$ | R\$0, 34    |
| ESP32                     | 1              | R\$15, 64 1        | R\$15, 64   |
| Chapa de MDF cru          | 3x(100cmx15cm) | R\$0, 005/ $cm^2$  | R\$22, 50   |
| PLaca de Acrílico(100x50) | 1              | R\$52, 15          | R\$52, 15   |
| VL53L0x Adafruit          | 1              | R\$69, 00          | R\$69, 00   |

Tabela 2 – Tabela de custos de aquisição

### 2.2.3.2 Comunicação, Gerenciamento e produção

Foram definidos alguns Softwares e Sites para comunicação, gerenciamento e produção do projeto, estes estão dispostos na Tab. (3).

### 2.2.3.3 Custo Total Estimado

O Custo Total foi estimado pela Eq.(2.2). Sendo computado no Valor Total os custos de aquisição até o momento e o valor da licença do Softwares pagos.

$$CustoTotal = ValorTotal + 20\%Riscos + 10\%Lucro = R\$1015, 57 \quad (2.2)$$

| Software        | Custo(R\$) |
|-----------------|------------|
| Trello          | 0,00       |
| Whatsapp        | 0,00       |
| Google Drive    | 0,00       |
| Overleaf        | 0,00       |
| TeamGant        | 0,00       |
| CatiaV5         | 389,06     |
| MATLAB          | 215,88     |
| Atom PlatformIO | 0,00       |

Tabela 3 – Softwares estabelecidos para uso e preços.

## 2.3 Requisitos

### 2.3.1 Requisitos Funcionais

RF01 Possibilitar o aluno realizar alterações nas variáveis de controle com portadas no sistema.

RF02 Dispositivos para alternância entre os andares.

RF03 Gerar gráficos em tempo real a partir dos dados obtidos pelos sensores.

RF04 Gerar um relatório com origem, destino e o tempo levado para estabilizar o objeto de acordo com as entradas.

RF05 O sistema deve responder de acordo com a entrada das variáveis de controle, bem como com andar desejado a cada requisição(de troca de andar) efetuada.

### 2.3.2 Requisitos Não-Funcionais

RNF01 Uso de Design responsivo nas interfaces gráficas (Usabilidade).

RNF02 Dados devem estar bem representados nas interfaces.

RNF03 Fácil visualização das variáveis de entrada.

## 2.4 Análise de Riscos

Os riscos referentes ao projeto estão especificados na FFig.(10).



| Riscos  | Impactos  | Medidas Preventivas  |
|---|---|--|
| Membros da equipe abandonam o projeto                                   | Sobrecarga entre os membros restantes                     | Estimular e planejar para que membros continuem no projeto                       |
| Não alcance da modelagem matemática da estrutura controlada             | Erros nos resultados de comportamento                     | Melhorar ferramentas de modelagem e/ou adequar estrutura para fácil modelagem    |
| Mudanças de materiais e sensores devido a ineficiências ou dificuldades | Atraso no projeto com custo maior de tempo e de recursos  | Fazer pesquisa eficiente dos materiais e sensores visando custo-benefício        |
| Falta de comunicação na equipe  | Dificuldade na gestão do projeto                          | Realizar reuniões periódicas, buscar feedbacks e acompanhamentos constantes      |
| Custo elevado dos materiais do projeto                                  | Dificuldade de aquisição de todos os recursos necessários | Realizar pesquisa de custo aprimorada e tentar baratear os recursos mais básicos |

Figura 10 – Tabela de Riscos, Impactos e Prevenção.

## 2.5 Cronograma e marcos

O cronograma do projeto é apresentado no Apêndice A. O objetivo da organização do cronograma é condicionar que todos os subsistemas estejam prontos no ponto de controle 2. O ponto de controle 3 será utilizado para integração dos subsistemas. Foi utilizado o site Team Gantt, para confecção, utilizando o modelo Gantt. A Figura (11) tem as datas das tarefas, por semanas.



## Referências

CURVELLO, A. *ESP32 – Um grande aliado para o Maker IoT*. 2018. Acessado em 27 de 04 de 2019. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/esp32-um-grande-aliado-para-o-maker-iot/>>. Citado na página 20.

ABENGE. *Controlador PID Analógico: uma abordagem didática em laboratório*, v. 33. Citado na página 10.

NISE, N. S. *Engenharia de Sistemas de Controle*. 7ª. ed. [S.l.]: LTC, 2017. ISBN 978-85-216-3436-2. Citado na página 17.

OGATA, K. *Engenharia de controle moderno*. 5ª. ed. [S.l.]: Pearson, 2011. ISBN 978-85-7605-810-6. Citado na página 9.

SILVA, A.; CIM, M. *Gestão de projetos: disciplina na modalidade a distância*. Florianópolis: SENAI/SC, 2012. Citado na página 11.



# APÊNDICE A – Cronograma

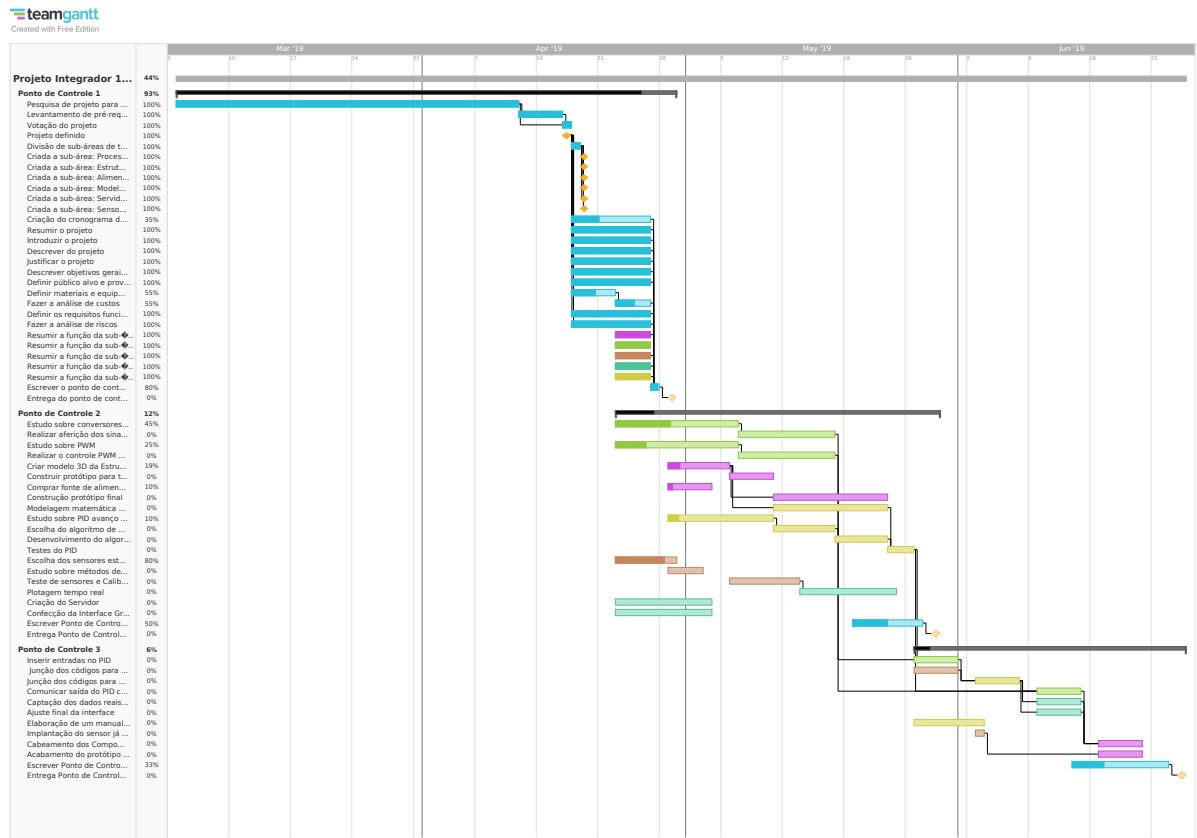


Figura 11 – Conograma gerado pelo TeamGantt.

## Projeto Integrador 1 - Grupo A

| ▼ Ponto de Controle 1                         | 90%                                 |                        | Start        | Due          | Assigned                |
|---|-------------------------------------|------------------------|--------------|--------------|-------------------------|
| Pesquisa de projeto para o tema: Educação     | 100%                                | <div><div></div></div> | Mar 4, 2019  | Apr 11, 2019 |                         |
| Levantamento de pré-requisitos                | 100%                                | <div><div></div></div> | Apr 12, 2019 | Apr 16, 2019 |                         |
| Votação do projeto                            | 100%                                | <div><div></div></div> | Apr 17, 2019 | Apr 17, 2019 |                         |
| Projeto definido                              | <input checked="" type="checkbox"/> | <div><div></div></div> | Apr 17, 2019 | Apr 17, 2019 |                         |
| Divisão de sub-áreas de trabalho              | 100%                                | <div><div></div></div> | Apr 18, 2019 | Apr 18, 2019 |                         |
| Criada a sub-área: Processamento de sinais    | <input checked="" type="checkbox"/> | <div><div></div></div> | Apr 19, 2019 | Apr 19, 2019 |                         |
| Criada a sub-área: Estrutura                  | <input checked="" type="checkbox"/> | <div><div></div></div> | Apr 19, 2019 | Apr 19, 2019 |                         |
| Criada a sub-área: Alimentação                | <input checked="" type="checkbox"/> | <div><div></div></div> | Apr 19, 2019 | Apr 19, 2019 |                         |
| Criada a sub-área: Modelagem matemática       | <input checked="" type="checkbox"/> | <div><div></div></div> | Apr 19, 2019 | Apr 19, 2019 |                         |
| Criada a sub-área: Servidor e página Web      | <input checked="" type="checkbox"/> | <div><div></div></div> | Apr 19, 2019 | Apr 19, 2019 |                         |
| Criada a sub-área: Sensores                   | <input checked="" type="checkbox"/> | <div><div></div></div> | Apr 19, 2019 | Apr 19, 2019 |                         |
| Criação do cronograma de prazos para as       | 35%                                 | <div><div></div></div> | Apr 18, 2019 | Yesterday    |                         |
| Resumir o projeto                             | 100%                                | <div><div></div></div> | Apr 18, 2019 | Yesterday    |                         |
| Introduzir o projeto                          | 100%                                | <div><div></div></div> | Apr 18, 2019 | Yesterday    |                         |
| Descrever do projeto                          | 100%                                | <div><div></div></div> | Apr 18, 2019 | Yesterday    |                         |
| Justificar o projeto                          | 100%                                | <div><div></div></div> | Apr 18, 2019 | Yesterday    |                         |
| Descrever objetivos gerais e específicos      | 100%                                | <div><div></div></div> | Apr 18, 2019 | Yesterday    |                         |
| Definir público alvo e prováveis clientes     | 100%                                | <div><div></div></div> | Apr 18, 2019 | Yesterday    |                         |
| Definir materiais e equipamentos utilizados   | 55%                                 | <div><div></div></div> | Apr 18, 2019 | Apr 22, 2019 |                         |
| Fazer a análise de custos                     | 55%                                 | <div><div></div></div> | Apr 23, 2019 | Yesterday    |                         |
| Definir os requisitos funcionais e não        | 50%                                 | <div><div></div></div> | Apr 18, 2019 | Yesterday    |                         |
| Fazer a análise de riscos                     | 100%                                | <div><div></div></div> | Apr 18, 2019 | Yesterday    |                         |
| Resumir a função da sub-área                  | 100%                                | <div><div></div></div> | Apr 23, 2019 | Yesterday    | Estrutura               |
| Resumir a função da sub-área                  | 100%                                | <div><div></div></div> | Apr 23, 2019 | Yesterday    | Processamento de sinais |
| Resumir a função da sub-área                  | 100%                                | <div><div></div></div> | Apr 23, 2019 | Yesterday    | Sensores                |
| Resumir a função da sub-área                  | 100%                                | <div><div></div></div> | Apr 23, 2019 | Yesterday    | Servidor e página web   |
| Resumir a função da sub-área                  | 100%                                | <div><div></div></div> | Apr 23, 2019 | Yesterday    |                         |
| Escrever o ponto de controle 1                | 60%                                 | <div><div></div></div> | Today        | Today        |                         |
| Entrega do ponto de controle 1                | <input type="checkbox"/>            | <div><div></div></div> | Monday       | Monday       |                         |
| ▼ Ponto de Controle 2                         | 6%                                  |                        | Start        | Due          | Assigned                |
| Estudo sobre conversores A/D                  | 45%                                 | <div><div></div></div> | Apr 23, 2019 | May 6, 2019  | Processamento de sinais |
| Realizar aferição dos sinais de entrada com o | 0%                                  | <div><div></div></div> | May 7, 2019  | May 17, 2019 | Processamento de sinais |
| Estudo sobre PWM                              | 25%                                 | <div><div></div></div> | Apr 23, 2019 | May 6, 2019  | Processamento de sinais |
| Realizar o controle PWM do Coler              | 0%                                  | <div><div></div></div> | May 7, 2019  | May 17, 2019 | Processamento de sinais |
| Criar modelo 3D da Estrutura                  | 0%                                  | <div><div></div></div> | Monday       | May 5, 2019  | Estrutura               |
| Construir protótipo para testes               | 0%                                  | <div><div></div></div> | May 6, 2019  | May 10, 2019 | Estrutura               |
| Comprar fonte de alimentação                  | 0%                                  | <div><div></div></div> | Monday       | Friday       | Estrutura               |

Figura 12 – Lista de atividades gerada pelo TeamGantt, parte 1.

|  |                          |   |              |              |                         |
|--|--------------------------|---|--------------|--------------|-------------------------|
| Construção protótipo final                 | 0%                       |    | May 11, 2019 | May 23, 2019 | Estrutura               |
| Modelagem matemática da Planta             | 0%                       |    | May 11, 2019 | May 23, 2019 |                         |
| Estudo sobre PID avanço e atraso de fase   | 10%                      |    | Monday       | May 10, 2019 |                         |
| Escolha do algoritmo de implementação no   | 0%                       |    | May 11, 2019 | May 17, 2019 |                         |
| Desenvolvimento do algoritmo para teste do | 0%                       |    | May 18, 2019 | May 23, 2019 |                         |
| Testes do PID                              | 0%                       |    | May 24, 2019 | May 26, 2019 |                         |
| Escolha dos sensores estudados segundo     | 80%                      |    | Apr 23, 2019 | Monday       | Sensoreamento           |
| Estudo sobre métodos de obtenção da        | 0%                       |    | Monday       | Thursday     | Sensoreamento           |
| Teste de sensores e Calibração             | 0%                       |    | May 6, 2019  | May 13, 2019 | Sensoreamento           |
| Plotagem tempo real                        | 0%                       |    | May 14, 2019 | May 24, 2019 | Servidor e página web   |
| Criação do Servidor                        | 0%                       |    | Apr 23, 2019 | Friday       | Servidor e página web   |
| Confeção da Interface Gráfica              | 0%                       |    | Apr 23, 2019 | Friday       | Servidor e página web   |
| Escrever Ponto de Controle 2               | 50%                      |    | May 20, 2019 | May 27, 2019 |                         |
| Entrega Ponto de Controle 2                | <input type="checkbox"/> |    | May 29, 2019 | May 29, 2019 |                         |
| <b>▼ Ponto de Controle 3</b>               | <b>6%</b>                |   | <b>Start</b> | <b>Due</b>   | <b>Assigned</b>         |
| Inserir entradas no PID                    | 0%                       |    | May 27, 2019 | May 31, 2019 | Processamento de sinais |
| Junção dos códigos para os tratamentos de  | 0%                       |    | May 27, 2019 | May 31, 2019 | Sensoreamento           |
| Junção dos códigos para as entradas do PID | 0%                       |    | Jun 3, 2019  | Jun 7, 2019  |                         |
| Comunicar saída do PID com PWM             | 0%                       |  | Jun 10, 2019 | Jun 14, 2019 | Processamento de sinais |
| Captação dos dados reais dos códigos       | 0%                       |  | Jun 10, 2019 | Jun 14, 2019 | Servidor e página web   |
| Ajuste final da interface                  | 0%                       |  | Jun 10, 2019 | Jun 14, 2019 | Servidor e página web   |
| Elaboração de um manual de utilização da   | 0%                       |  | May 27, 2019 | Jun 3, 2019  |                         |
| Implantação do sensor já calibrado na      | 0%                       |  | Jun 3, 2019  | Jun 3, 2019  | Sensoreamento           |
| Cabeamento dos Componentes Eletrônicos     | 0%                       |  | Jun 17, 2019 | Jun 21, 2019 | Estrutura               |
| Acabamento do protótipo final              | 0%                       |  | Jun 17, 2019 | Jun 21, 2019 | Estrutura               |
| Escrever Ponto de Controle 3               | 33%                      |  | Jun 14, 2019 | Jun 24, 2019 |                         |
| Entrega Ponto de Controle 3                | <input type="checkbox"/> |  | Jun 26, 2019 | Jun 26, 2019 |                         |

[View in Gantt](#)

Figura 13 – Lista de atividades gerada pelo TeamGantt, parte 2.





# APÊNDICE B – *Business Model Canvas*

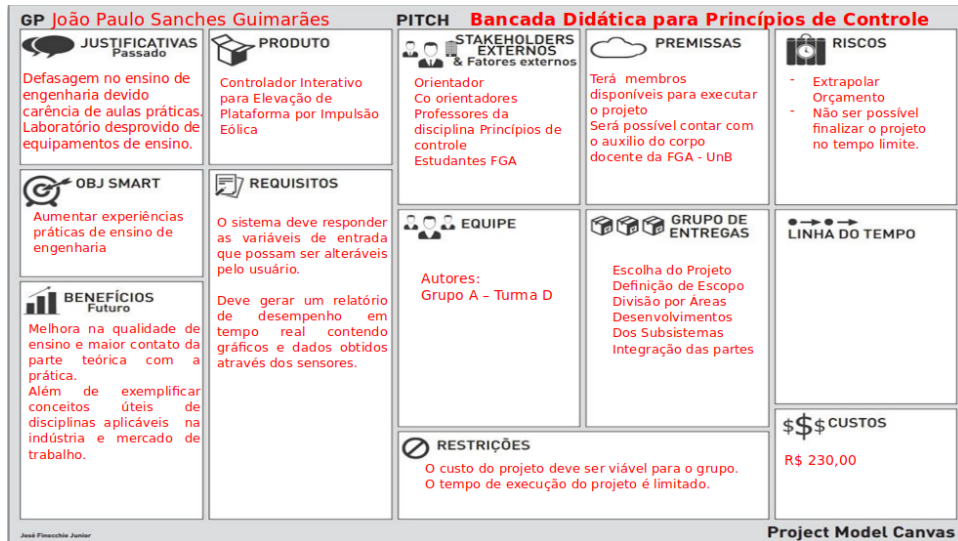


Figura 14 – Modelo de Negócios *Canvas*



# APÊNDICE C – Estrutura Analítica de Projetos

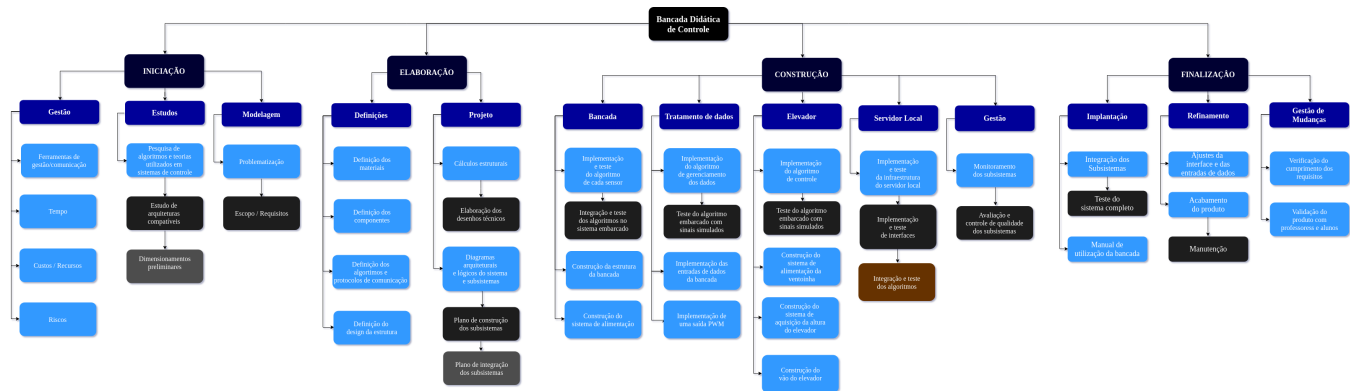


Figura 15 – Estrutura Analítica de Projetos.