



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: Profs. Drs. Diogo C. Garcia e Mariana C. B. Matias**

**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: Profs. Drs. Diogo C. Garcia e Mariana C. B. Matias

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 – Diagrama de blocos do projeto. . . . .	12
Figura 4 – Diagrama de blocos de sistema com controlador PID. . . . .	13
Figura 5 – Diagrama de blocos do projeto, com atuação de Processamento de Sinais. . . . .	14
Figura 6 – Exemplo PWM . . . . .	15
Figura 7 – Funcionamento das Requisições.(DOHMS, 2018) . . . . .	17
Figura 8 – Modelo Virtual da Estrutura . . . . .	21
Figura 9 – Tabela de Preço de Sensores de Distância . . . . .	21
Figura 10 – Pinagem ESP32. . . . .	22
Figura 11 – Tabela de Riscos, Impactos e Prevenção. . . . .	26
Figura 12 – Estrutura Analítica de Projetos. . . . .	29

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Tabela de custos de aquisição . . . . .	24
--	----

# 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
AJAX	Asynchronous JavaScript And XML





# 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>Referencial Teórico</b>	<b>12</b>
1.4.1	Subárea: Modelagem matemática	12
1.4.2	Subárea: Alimentação	13
1.4.3	Subárea: Processamento de Sinais	14
1.4.3.1	Dispositivo para PWM	14
1.4.4	Subárea: Estrutura	15
1.4.5	Subárea: Sensoriamento	16
1.4.6	Subárea: Servidor WEB	16
<b>2</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b>	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Metodologia</b>	<b>19</b>
2.1.1	Equipes e Partes Interessadas	19
2.1.1.1	Equipe	19
2.1.1.2	Usuários	20
2.1.1.3	Clientes	20
2.1.2	Materiais, equipamentos e aplicações	20
2.1.2.1	Estrutura	20
2.1.2.2	Sensor	20
2.1.2.3	Microcontrolador	22
2.1.3	Sub-sistemas e Algoritmos	22
2.1.3.1	Circuito de Alimentação	22
2.1.3.2	Aquisição de Parâmetros de Entrada	23
2.1.3.3	Saída PWM	23
2.1.3.4	Servidor e Página WEB	24
2.1.3.5	Modelagem Matemática	24
2.1.4	Análise de Custos	24
2.1.4.1	Custo de aquisição	24
<b>2.2</b>	<b>Requisitos</b>	<b>25</b>
2.2.1	Requisitos Funcionais	25

2.2.2	Requisitos Não-Funcionais . . . . .	25
2.3	<b>Análise de Riscos . . . . .</b>	<b>25</b>
2.4	<b>Cronograma e marcos . . . . .</b>	<b>25</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>27</b>
	<b>APÊNDICE A – ESTRUTURA ANALÍTICA DE PROJETOS . . . .</b>	<b>29</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.

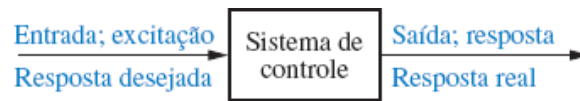


Figura 1 – Exemplo simplificado de um Sistema de Controle.

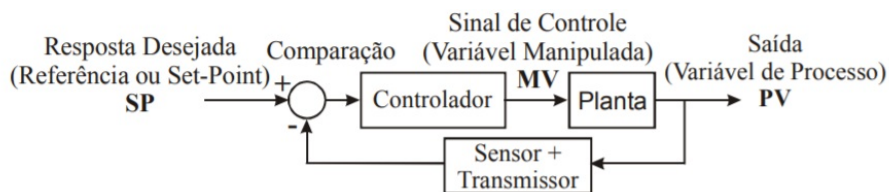


Figura 2 – Diagrama de Blocos de um sistema em malha fechada.

## 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 Referencial Teórico

### 1.4.1 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 matemática. 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. (3). 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-

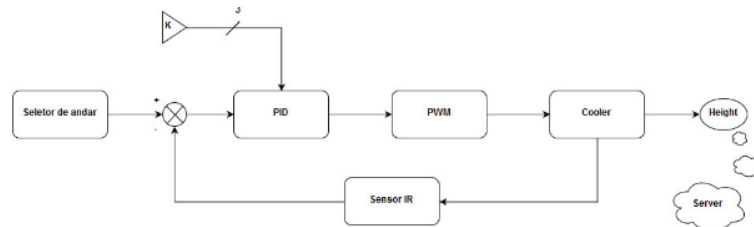


Figura 3 – Diagrama de blocos do projeto.

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

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).



### 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.(5), 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.

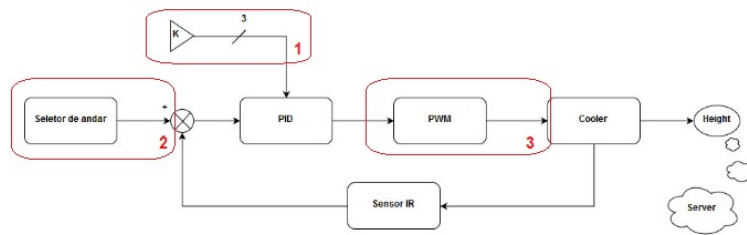


Figura 5 – Diagrama de blocos do projeto, com atuação de Processamento de Sinais.

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

#### 1.4.3.1 Dispositivo para PWM

PWM é a abreviação de Pulse Width Modulation ou Modulação de Largura de Pulso e refere-se ao conceito de pulsar rapidamente um sinal digital em um condutor. Além de várias outras aplicações, esta técnica de modulação pode ser utilizada para simular uma tensão estática variável e é comumente aplicada no controle de motores elétricos, aquecedores, LEDs ou luzes em diferentes intensidades ou frequências.

Esse dispositivo trabalha de forma similar a um interruptor que liga uma fonte a uma carga. Quando o interruptor está aberto não há corrente na carga e a potência aplicada é nula. No instante em que o interruptor é fechado, a carga recebe a tensão total



da fonte e a potência aplicada é máxima. O interruptor fechado pode definir uma largura de pulso pelo tempo em que fica nesse estado, e um intervalo entre pulsos pelo tempo em que ele fica aberto. Os dois tempos juntos definem o período, e consequentemente, uma frequência de controle.

A relação entre o tempo em que temos o pulso e a duração de um ciclo completo de operação do interruptor nos define ainda o ciclo ativo, conforme a Figura 6.

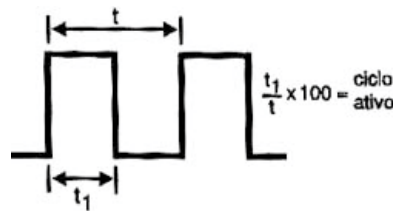


Figura 6 – Exemplo PWM

No presente projeto, o PWM será implementado em um microcontrolador que fará o controle do motor DC que levantará o elevador por meio eólico. O que definirá o ciclo ativo e as frequências de controle será o controlador PID que estará junto ao mesmo microcontrolador, de forma que o intuito é controlar a velocidade do motor a ser utilizado.

O motivo de utilizar esse recurso no projeto, além da sua versatilidade de implementação, é que o sinal permanece digital em todo o percurso desde o processador até o sistema controlado e nenhuma conversão de digital para analógico é necessária. Ao manter o sinal digital, os efeitos de ruído são minimizados, pois um ruído só pode afetar um sinal digital se ele for forte o suficiente para alterar uma lógica 1 para uma lógica 0 ou vice-versa.

#### 1.4.4 Subárea: 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, modelagem 3D, escolha de materiais e confecção.

Durante a primeira etapa, receberemos as necessidades e especificações dos componentes eletrônicos usados em outras subáreas para adaptar na estrutura. Seguindo para a segunda etapa, na qual a estrutura será desenvolvida no programa Catia V5.

Já na terceira etapa serão selecionados os materiais para 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.

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.

#### 1.4.5 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:

- Levantar sensores com as especificações necessárias e seus respectivos custos;
- 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.
- Fazer os devidos testes para o sensor escolhido em um ambiente semelhante ao do protótipo final, visando validar e calibrar as medições.
- Projetar filtros e algoritmos para tratar o sinal dos sensores, visando suprimir o ruído contido nas medições.

#### 1.4.6 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.
- ArduinoIDE (C++): Será utilizado para fazer a conexão entre os dados recebidos do sensor e a página WEB, onde serão mostrados os gráficos resultantes.
- AJAX(Asynchronous JavaScript And XML): É uma tecnologia muito utilizada atualmente e que está em bastante evidência porque ela torna seus aplicativos muito mais dinâmicos e com maiores capacidades de respostas.(MEDEIROS, 2018)

Será utilizado para realizar requisição de dados obtidos pelas entradas do sistema(distância do sensor, variáveis de controle e sinal de referência) em tempo real garantindo a consistência dos dados. A Fig. 7 mostra o funcionamento das requisições utilizando AJAX.

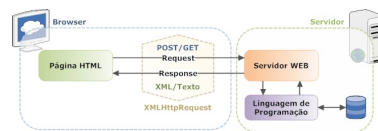


Figura 7 – Funcionamento das Requisições.(DOHMS, 2018)



## 2 Desenvolvimento

### 2.1 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 [A](#)).

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.

#### 2.1.1 Equipes e Partes Interessadas

##### 2.1.1.1 Equipe

A equipe é composta por alunos da Turma D, Grupo A, 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.

#### 2.1.1.2 Usuários

Alunos de sistemas de controle da Universidade de Brasília.

#### 2.1.1.3 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.

### 2.1.2 Materiais, equipamentos e aplicações

#### 2.1.2.1 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. Caracterizando-se ambos por possuir boa estabilidade e grande capacidade de absorção de tinta.

Foi adquirido um motor de corrente contínua com capacidade para executar o trabalho requerido, acoplando uma hélice a qual preenche uma área de formato circular possibilitando a utilização de outros tipos de seção. A partir disso a restrição da estrutura fica em função do raio da hélice.

Para demonstração do fenômeno de estudo é necessário que seja visível a plataforma dentro do elevador, para isso serão feitas fendas sobre o mesmo de modo que facilite a observação da altura da plataforma.

Atendendo a esse requisito, diversos materiais foram cogitados, entre eles os que mais se destacaram foram o vidro, o acrílico e o acetato. Devido a maleabilidade e baixo custo, o acetato foi escolhido dentre os outros já que a primeira opção foi descartada por conta da fragilidade, e o segundo por conta do elevado preço.

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 (Poliéstereno 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.

#### 2.1.2.2 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

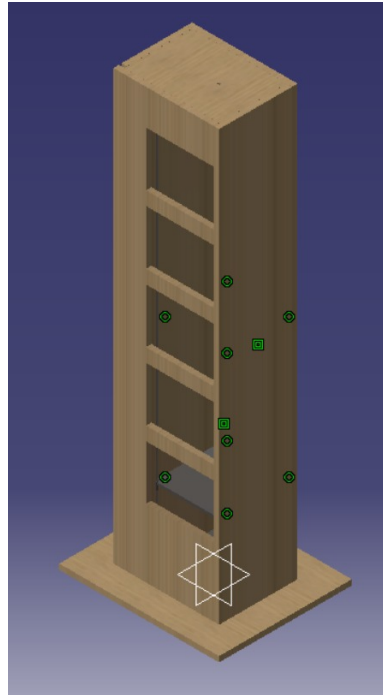


Figura 8 – Modelo Virtual da Estrutura

ultrassom ou infra vermelho (IR) e os que realizam a medição por laser. No nosso caso utilizaremos o último mostrado na Fig. (9), 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 9 – Tabela de Preço de Sensores de Distância

Feita uma pesquisa abrangendo o máximo de sensores possíveis chegou-se a esses modelos mostrados na Figura 9. O modelo que utiliza IR foi rejeitado devido a sua taxa de atualização e o GY-530 devido ao seu range de operação, então o sensor escolhido para projeto foi o VL53l0x Adafruit por melhor cumprir os requisitos exigidos do sensor.

O VL53L0X é um sensor a laser de distância. Este sensor emite um laser não visível ao olho humano, sendo capaz de medir distâncias em um cone estreito de feixe de luz, sendo ideal para medir distâncias no tudo de vento proposto pela estrutura. Uma





chega a picos de 4.5A, assim no pior dos casos ainda sobram 500mA para alimentação do microcontrolador que necessita tipicamente de 80mA.

Tendo em vista a aquisição desta fonte, temos a necessidade de alimentar o microcontrolador (ESP32), que é a parte central do circuito de controle do projeto. Esta, por sua vez, deve ser alimentada por uma tensão nominal de 5V. Portanto, faz-se necessário o uso de um regulador de tensão para conter a tensão de 12V original da fonte.

Devido à definição do motor, uma melhor especificação do consumo de energia foi alcançado, assim a escolha da fonte de alimentação e o módulo ponte H de foram feitas de forma mais clara. Este módulo foi escolhido devido à sua robustez à passagem de grandes correntes, bem como a possibilidade de impulsionar o motor em ambas as direções. Uma vez que isso possa vir a ser útil em situações em que deseja-se que a hélice freie bruscamente. Com tais confirmações o trabalho desta subcategoria acaba, então os membros podem ser dissolvidos para um foco maior nas outras subáreas.

#### 2.1.3.2 Aquisição de Parâmetros de Entrada

De acordo com os requisitos do projeto, são necessários dois tipos de entrada diferente, seletor de andar e seletor de constantes de controle. Para a seleção de andar foram escolhidos botões, para manter-se uma igualdade com o painel de seleção de um elevador real.

Já para a seleção das constantes de controle inicialmente foi escolhido potenciômetros comuns, porém estes são muito ruidosos e instáveis, tendo em vista que esta seleção é o requisito principal do projeto, buscou-se uma alternativa que torna-se a seleção mais constante e estável possível, assim sendo decidido o uso de *encoders* rotativos.

O *encoder* rotativo é um tipo de sensor de posição, que determina a posição angular de um eixo de rotação e envia um sinal elétrico, analógico ou digital, de acordo com o movimento rotacional. Por ser um sinal digital, não é necessário a conversão analógica para digital que é necessária para a utilização do potenciômetro e pelo motivo do *encoder* enviar um sinal só ao ocorrer movimento rotacional perceptível ao sensor, diminuíse os ruídos.

#### 2.1.3.3 Saída PWM

Para o projeto em questão, após uma análise, foi decidido usar uma saída PWM, uma vez que, esses sistemas funcionam recebendo sinais analógicos que variam de magnitude continuamente ao longo do tempo, sendo assim necessário o PWM para fazer um papel similar de uma saída analógica, mas usando uma saída digital.

No caso em questão, será preciso um dispositivo que varie a potência aplicada sobre uma carga, por meio de uma onda de pulsos quadrados que alterem seu ciclo de trabalho,

regulando assim a energia fornecida ao motor, controlando sua velocidade, cumprindo assim, um dos requisitos do projeto.

#### 2.1.3.4 Servidor e Página WEB

Foi definida a conexão entre o servidor WEB e a ESP32, o *Front-end* da aplicação com HTML, JS, AJAX e CSS. Restando, apenas, a comunicação entre o servidor e o sensor de distância.

Os dados obtidos pelo sensor serão armazenados em um arquivo csv no sistema de arquivos da ESP e a partir de requisições utilizando ajax, os dados serão plotados em um gráfico.

#### 2.1.3.5 Modelagem Matemática

Inicialmente pensou-se unicamente uma ferramenta integrada com o ambiente MATLAB, para obter-se o modelo matemático da planta, porém como o projeto visa aplicação educacional foi definido que será realizada a modelagem manual, utilizando diagramas de corpo livre e outras formas de cálculo das equações físicas, e ao se finalizar comparar com o resultado do MATLAB.

### 2.1.4 Análise de Custos

#### 2.1.4.1 Custo de aquisição

Os custos de aquisição previstos no dado momento do projeto, estão dispostos na Tab. (1), podendo estes ser alterado no decorrer da produção.

Equipamento/Serviço	Quantidade	Valor unitário	Valor total
Fonte Chaveada de 12V5A	1	R\$21,49	R\$21,49
ESP32	1	R\$15,64	R\$15,64
Micro Motor DC 12V 18200RPM	1	R\$20,90	R\$20,90
Placa de EPS (isopor)	1	R\$0,0009/cm <sup>3</sup>	R\$0,34
Chapa de MDF cru	3x(100cmx15cm)	R\$0,005/cm <sup>2</sup>	R\$22,50
Placa de Acrílico(100x50)	1	R\$52,15	R\$52,15
Vl53l0x Adafruit	1	R\$69,00	R\$69,00
Driver Ponte H - VNH2SP30	1	R\$75,00	R\$75,00
Botão	5	R\$2,00	R\$10,00
Módulo Encoder Rotacional	3	R\$8,60	R\$25,80
Placa de prototipagem perfurada	1	R\$3,32	R\$3,32
Hélice	1	R\$7,49	R\$7,49

Tabela 1 – Tabela de custos de aquisição

O Custo Total foi estimado pela Eq.(2.1). Sendo computado no Valor Total os custos de aquisição até o momento.

$$CustoTotal = R\$323,63 \quad (2.1)$$

## 2.2 Requisitos

### 2.2.1 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.

### 2.2.2 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.

## 2.3 Análise de Riscos

Os riscos referentes ao projeto estão especificados na Fig.(11).

## 2.4 Cronograma e marcos

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.

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 modelagem e/ou adequar estrutura para fácil modelagem
Mudanças de materiais e sensores devido 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 11 – Tabela de Riscos, Impactos e Prevenção.

## Referências

- CURVELLO, A. *ESP32 – Um grande aliado para o Maker IoT*. 2018. Acessado em 27 do 04 de 2019. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/esp32-um-grande-aliado-para-o-maker-iot/>>. Citado na página 22.
- DOHMS, R. *AJAX e PHP: Aprendendo a base*. 2018. Acessado em 29 do 05 de 2019. Disponível em: <<http://blog.doh.ms/2008/08/18/ajax-e-php-aprendendo-a-base-1/?lang=pt-br>>. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 17.
- ABENGE. *Controlador PID Analógico: uma abordagem didática em laboratório*, v. 33. Citado na página 10.
- MEDEIROS, H. *Ajax Básico: Introdução*. 2018. Acessado em 29 do 05 de 2019. Disponível em: <<http://www.linhadecodigo.com.br/artigo/3585/ajax-basico-introducao.aspx>>. Citado na página 17.
- NISE, N. S. *Engenharia de Sistemas de Controle*. 7<sup>a</sup>. ed. [S.l.]: LTC, 2017. ISBN 978-85-216-3436-2. Citado na página 12.
- OGATA, K. *Engenharia de controle moderno*. 5<sup>a</sup>. 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 – Estrutura Analítica de Projetos

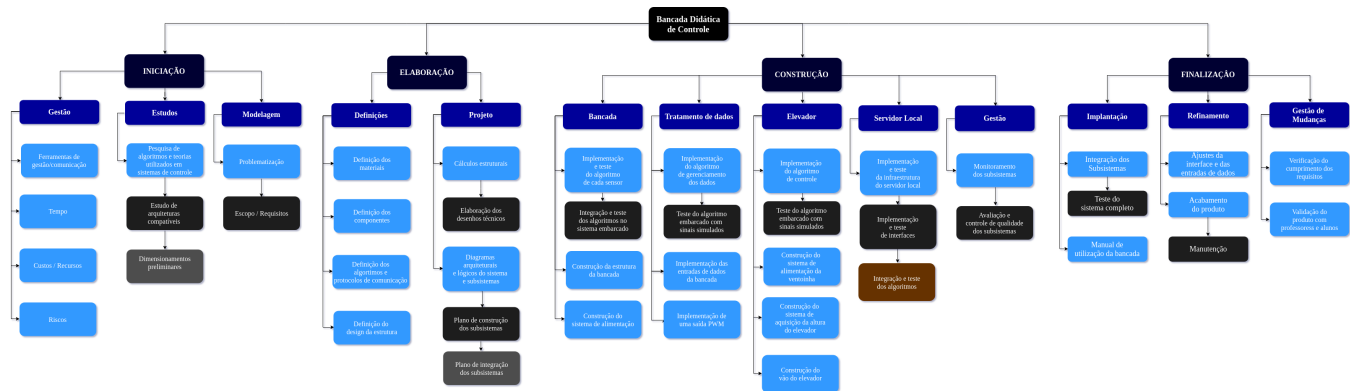


Figura 12 – Estrutura Analítica de Projetos.