



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Engenharias

Aquatop: O aquário inteligente

Autor: Alice Fazzolino, Douglas Cerbino, Fernanda Jesus, Gabriel Batista, Gabriel Santos, João Gabriel Dourado, Joselito Prado, Laura Galant, Luis Felipe Nolasco, Lucas Lermen, Lucas Pereira, Lucas Siqueira e Thiago Gomes

Orientador: Alex Reis, Rhander Viana, Ricardo M. Chaim e Sebastien R. M. J. Rondineau

Brasília, DF

2019



Alice Fazzolino, Douglas Cerbino, Fernanda Jesus, Gabriel Batista, Gabriel Santos, João Gabriel Dourado, Joselito Prado, Laura Galant, Luis Felipe Nolasco, Lucas Lermen, Lucas Pereira, Lucas Siqueira e Thiago Gomes

Aquatop: O aquário inteligente

Relatório submetido para a avaliação do ponto de controle 3 referente à matéria Projeto Integrador 2 do grupo responsável pelo projeto de um sistema de Aquário autônomo.

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Alex Reis, Rhander Viana, Ricardo M. Chaim e Sebastien R.
M. J. Rondineau

Brasília, DF

2019

Lista de ilustrações

Figura 1 – Fuso, funil e tubo - fonte: autor	9
Figura 2 – Vista isométrica mecanismo de alimentação I - fonte: autor	9
Figura 3 – Vista isométrica mecanismo de alimentação II - fonte: autor	10
Figura 4 – Mecanismo central - fonte: autor	11
Figura 5 – Esqueleto de sustentação em processo de construção - fonte: autor . . .	12
Figura 6 – Esqueleto de sustentação finalizado - fonte: autor	13
Figura 7 – Vista isométrica do baú - fonte: autor	14
Figura 8 – Vista lateral baú - fonte: autor	15
Figura 9 – Vista frontal baú - fonte: autor	15
Figura 10 – Seção reservada para a hidráulica - fonte: autor	16
Figura 11 – Braçadeira para os filtros - fonte: autor	16
Figura 12 – Suporte para mangueiras - fonte: autor	17
Figura 13 – Vista traseira da estrutura - fonte: autor	17
Figura 14 – Vista frontal da estrutura - fonte: autor	18
Figura 15 – Vista isométrica da estrutura - fonte: autor	18
Figura 16 – Plano de integração com eletrônica e energia - fonte: autor	19
Figura 17 – Aquecedor escolhido - fonte: autor	21
Figura 18 – Bomba de descarte - fonte: autor	24
Figura 19 – CAD: Vista lateral do filtro - fonte: autor	26
Figura 20 – CAD: Vista isométrica do filtro - fonte: autor	26
Figura 21 – CAD: Vista explodida do filtro - fonte: autor	26
Figura 22 – Bomba filtro300 - fonte: autor	28
Figura 23 – Suporte para as mídias I - fonte: autor	29
Figura 24 – Suporte para as mídias II - fonte: autor	29
Figura 25 – Filtros - fonte: autor	30
Figura 26 – Diagrama do fluxo de água - fonte: autor	30
Figura 27 – Circuito de chaveamento Nobreak - fonte: autor	31
Figura 28 – Circuito da fonte de alimentação - fonte: autor	32
Figura 29 – Diagrama da comunicação I2C - fonte: autor	33
Figura 30 – Diagrama do sistema eletrônico completo - fonte: autor	34
Figura 31 – Diagrama da Unidade de Controle Central - fonte: autor	35
Figura 32 – Raspberry Pi 3 - fonte: autor	36
Figura 33 – Motor de passo 28BYJ-48 - fonte: autor	36
Figura 34 – Driver ULN2003 - fonte: autor	37
Figura 35 – Sensor de fim de curso - fonte: autor	37
Figura 36 – Diagrama do Subsistema Aquário - fonte: autor	38

Figura 37 – MSP-EXP430G2 - fonte: autor	39
Figura 38 – Display LCD 16x2 - fonte: autor	39
Figura 39 – Sensor à prova D’água DS18b20 - fonte: autor	40
Figura 40 – Sensor de pH com módulo BNC - fonte: autor	40
Figura 41 – Sensor de Luminosidade – LDR - fonte: autor	41
Figura 42 – Sensor HC-SR04 - fonte: autor	41
Figura 43 – Sensor de Fluxo YF-S201 - fonte: autor	42
Figura 44 – Resposta ao degrau da função de transferência do aquecedor - fonte: autor	43
Figura 45 – Resposta ao degrau da Função de transferência do Aquecedor - fonte: autor	44
Figura 46 – Estrutura PID do projeto - fonte: autor	45
Figura 47 – Gráfico representativo de um controle PID - fonte: autor	45
Figura 48 – Índices de desempenho de resposta ao degrau- Primeira Ordem - fonte: https://www.ni.com/pt-pt/innovations/white-papers/06/pid-theory-explained.html	47
Figura 49 – Curva de Reação - fonte: autor	48
Figura 50 – Resposta P a um degrau unitário - fonte: autor	50
Figura 51 – Lugar geométricos das raízes de P - fonte: autor	50
Figura 52 – Resposta PI a um degrau unitário - fonte: autor	51
Figura 53 – Lugar geométricos das raízes de PI - fonte: autor	51
Figura 54 – Resposta PD a um degrau unitário - fonte: autor	52
Figura 55 – Lugar geométricos das raízes de PD - fonte: autor	52
Figura 56 – Resposta PID a um degrau unitário - fonte: autor	53
Figura 57 – Lugar geométricos das raízes de PID - fonte: autor	53
Figura 58 – Resposta PID da FT ajustada a um degrau unitário - fonte: autor	54
Figura 59 – Lugar geométricos das raízes de PID ajustado - fonte: autor	55
Figura 60 – Circuito de zero crossing - fonte: autor	56
Figura 61 – Teste laboratorial para o circuito zero-crossing. CH1 é a onda retificada de entrada e CH2 a saída do circuito zero-crossing, que representa o pulso enviado ao microcontrolador .Ao passar pelo ponto zero, o pulso é detectado pela MSP430 - fonte: autor	57
Figura 62 – Circuito de isolamento e de acionamento de carga - fonte: autor	58
Figura 63 – Teste laboratorial para o circuito atuador. O CH1 é a entrada da fonte, o CH2 é a tensão na carga, regulada pelo microcontrolador. É possível ver cerca de 75% de redução na tensão eficaz na carga, como esperado - fonte: autor	58
Figura 64 – Layout para o circuito zero-crossing - fonte: autor	59
Figura 65 – Layout para o circuito atuador - fonte: autor	59
Figura 66 – Rede de petri - fonte: autor	61

Figura 67 – Diagrama de integração - fonte: autor	63
Figura 68 – Tela aplicativo - fonte: autor	65
Figura 69 – Agendamento de tarefas - fonte: autor	67
Figura 70 – Diagrama de integração software com eletrônica - fonte: autor	70
Figura 71 – Vista explodida mecanismo de alimentação - fonte: autor	73
Figura 72 – Reservatório - fonte: autor	74
Figura 73 – Base reservatório - fonte: autor	75
Figura 74 – Tubo de alimentação - fonte: autor	76
Figura 75 – Fuso - fonte: autor	77
Figura 76 – Funil alimentador - fonte: autor	78
Figura 77 – Suporte guia linear - fonte: autor	79
Figura 78 – Suporte alimentador - fonte: autor	80
Figura 79 – Suporte motor de passo - fonte: autor	81
Figura 80 – Esqueleto de sustentação - fonte: autor	82
Figura 81 – Baú de componentes eletrônicos - fonte: autor	83
Figura 82 – Sistema hidráulico - fonte: autor	84
Figura 83 – Diagrama elétrico I - fonte: autor	85
Figura 84 – Diagrama elétrico II - fonte: autor	86

Lista de tabelas

Tabela 1 – Resultados obtidos nos testes do motor de passo	8
Tabela 2 – Cálculos para o PID	21
Tabela 3 – Valores de potência e corrente sistema crítico	31
Tabela 4 – Efeitos na resposta de um sistema PID em malha fechada - fonte: Adaptado SARAIVA(2011)	47
Tabela 5 – Tabela de ganhos - Método da Curva de Reação - fonte: JÚNIOR (2009)	48
Tabela 6 – Fórmula utilizadas para calcular as constantes - fonte: JÚNIOR (2009)	49
Tabela 7 – Auto Avaliação	88

Sumário

1	ESTRUTURA	8
1.1	Mecanismo de alimentação	8
1.2	Sustentação	11
1.3	Organização interna	13
1.3.1	Componentes eletrônicos	14
1.3.2	Sistema hidráulico	16
1.4	Estrutura final	17
1.5	Plano de integração	19
2	ENERGIA	20
2.1	Aquecedor	20
2.2	Troca de água	22
2.3	Filtragem	25
2.4	Diagrama de fluxo de água	30
2.5	Nobreak	31
2.6	Fonte	32
2.7	Plano de integração	32
3	ELETRONICA	33
3.1	Descrição geral	33
3.2	Dispositivos gerais de eletrônica	34
3.2.1	Unidade de controle central	35
3.2.2	Subsistema aquário	37
3.3	Aquecedor	42
3.3.1	Modelagem do aquecedor	42
3.3.2	PID	44
3.3.3	Controle do aquecedor	46
3.3.3.1	Método da Curva de Reação - ziegler nichols	48
3.3.4	Estrutura PID	49
3.3.4.1	Controle analógico	49
3.3.5	Ajuste das constantes	53
3.3.6	Circuitos de Zero-Crossing e Atuador	55
3.3.6.1	Zero-Crossing	55
3.3.6.2	Acionador triac	57
3.3.7	Placa de circuito impresso	58
3.3.8	Rede de petri	59

3.3.9	Plano de integração	62
4	SOFTWARE	64
4.1	Aplicativo	64
4.2	Microsserviço de usuário(User)	65
4.3	Microsserviço de aquário(Aquarium)	66
4.4	Microsserviço de Monitoramento(Monitoring)	66
4.5	Microsserviço de Notificação(Notification)	67
4.6	Worker de Agendamento(Scheduling)	67
4.7	Servidor de WebSocket	68
4.8	Cliente de WebSocket	68
4.9	KAFKA	68
4.10	NGINX	69
4.11	Plano de integração	70
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
6	APENDICE	73
6.1	Estrutura	73
6.2	Eletrônica	85
7	AUTO AVALICAÇÃO	87

1 Estrutura

A construção e fabricação da estrutura desse projeto se dividiu em 4 áreas: o mecanismo de alimentação, o esqueleto de sustentação da estrutura, organização dos componentes internos e a estrutura externa/ finalizada. Essa divisão foi mantida para que os componentes pudessem ser fabricados e organizados da maneira mais lógica e prática possível. Antes da construção, foram feitos testes básicos de componentes e, ao longo da construção, outros testes foram realizados, cada um destes será explicado quando conveniente.

1.1 Mecanismo de alimentação

Testes de resistência/ força e velocidade foram realizados para determinar se o motor de passo dimensionado realmente se adequaria ao projeto. Os resultados obtidos podem ser visualizados a seguir, bem como as conclusões.

	Resultado obtido	Desejado
Resistência e força	3Kg carregados	850g
Velocidade	0,76 cm/s	0,7 cm/s

Tabela 1 – Resultados obtidos nos testes do motor de passo

Os testes com o motor de passo mostram sua adequação ao projeto. O peso previsto que deve carregar deve ser de 850 gramas e conseguiu, indiretamente, carregar 3Kg. O tempo para despejar 2 gramas de ração será de 1 minuto para cada aquário, dentro do desejado.

Os testes do fuso foram feitos para testar a rugosidade das superfícies. O primeiro fuso foi impresso 3D, não entrou nos padrões esperados por ser muito rugoso. Outros dois materiais foram testados, o poliacetal e o alumínio (5/8"). O poliacetal se mostrou difícil na usinagem e acabou quebrando. O alumínio foi a melhor opção. Usinagem mais uniforme e superfície menos rugosa. O restante dos itens, como o tubo e o funil continuam em material 3D. As peças da base do mecanismo foram fabricadas via impressão 3D, assim como as conexões das guias com a estrutura. Os reservatórios de ração foram feitos a partir de tubos de PVC.

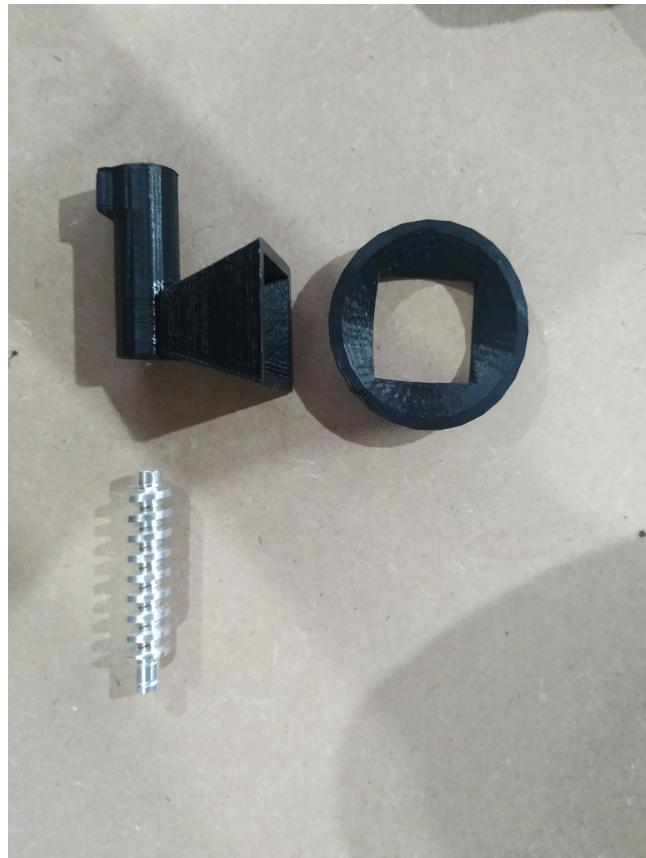


Figura 1 – Fusil, funil e tubo - fonte: autor

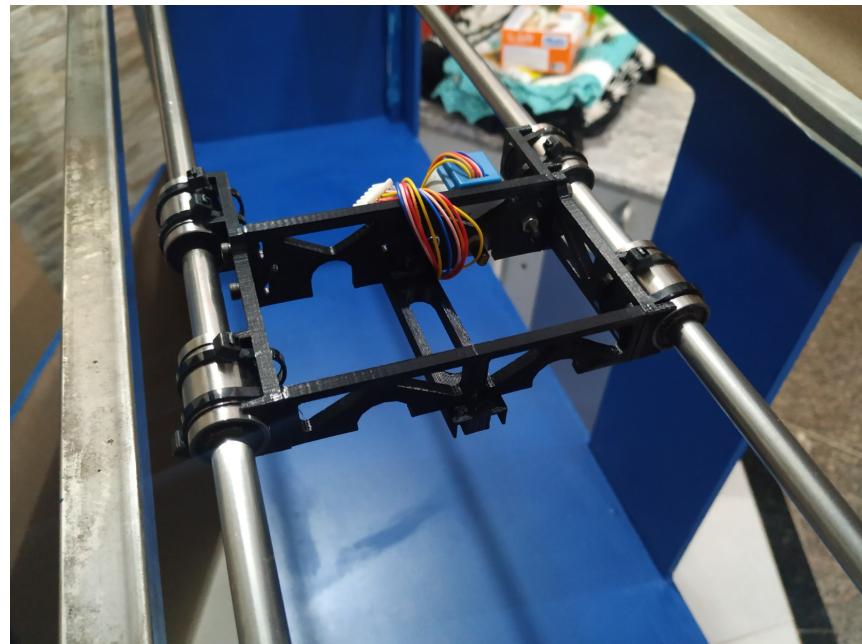


Figura 2 – Vista isométrica mecanismo de alimentação I - fonte: autor



Figura 3 – Vista isométrica mecanismo de alimentação II - fonte: autor

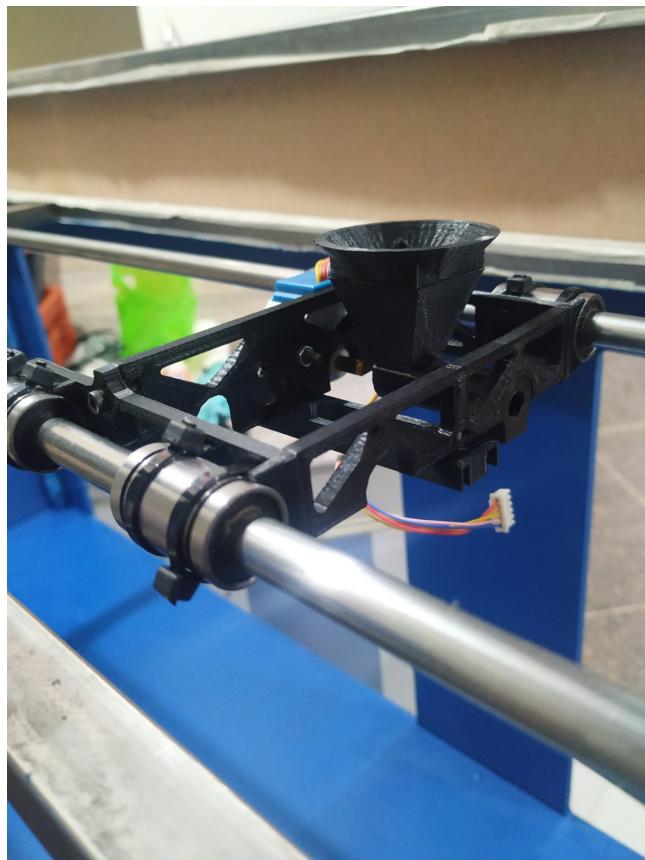


Figura 4 – Mecanismo central - fonte: autor

1.2 Sustentação

O esqueleto foi construído a partir de perfis de aço estrutural 20x20 mm com parede de 0.95 mm. Esse material foi escolhido por oferecer uma resistência que atende ao projeto, barato e de fácil acesso. Suportou as cargas previstas anteriormente de:

- 5 kg dos componentes eletrônicos e sistema de alimentação na seção superior;
- 100 kg de cada aquário na seção mediana;
- 44 kg dos reservatórios e filtros na seção inferior.

Os perfis foram cortados e soldados de acordo com o projeto apresentado no ponto de controle 2.



Figura 5 – Esqueleto de sustentação em processo de construção - fonte: autor



Figura 6 – Esqueleto de sustentação finalizado - fonte: autor

Os resultados verificados com os testes feitos no esqueleto de sustentação foram satisfatórios. Pesos similares e até superiores às cargas foram colocados sobre ele e resistiu sem sofrer grandes deformações. Se provou estável também. O seu acabamento será feito mais adiante.

Pode-se concluir que a estrutura resiste bem aos esforços que agem sobre ela. As deformações não são significativas e não prejudicarão a integridade da estrutura. As dimensões finais do esqueleto de sustentação também podem ser vistas no apêndice.

1.3 Organização interna

Maneiras de organizar os componentes internamente foram pensadas tanto por questões estéticas, quanto por questões de manutenção e organização. Por fim, chegou-se em dois grandes grupos de organização interna: o baú de componentes eletrônicos e a área

de reservatórios/ filtragem.

1.3.1 Componentes eletrônicos

O baú dos componentes eletrônicos foi feito todo em MDF 9mm e as peças foram coladas para um acabamento mais refinado e limpo. A intenção é todos os componentes de sensoriamento, controle e alimentação estarem dispostos dentro desse baú. O layout exato será pensado quando todos os componentes estiverem prontos para implementação e será discutido com eletrônica quais devem estar juntos e quais devem estar separados. O acabamento foi feito em tinta acetinada.



Figura 7 – Vista isométrica do baú - fonte: autor



Figura 8 – Vista lateral baú - fonte: autor



Figura 9 – Vista frontal baú - fonte: autor

1.3.2 Sistema hidráulico

Neste ponto de controle foi definido, em conjunto com energia, a localização dos filtros e a sua fixação, tudo de maneira a deixar sua manutenção prática e rápida. Os filtros serão fixados nas paredes laterais internas por duas braçadeiras em U que possibilitem a sua retirada para manutenção (troca de mídias, troca da bomba, limpeza, entre outras atividades). As mangueiras serão presas com ventosas e pequenos encaixes de plástico, para que não interfira na vazão, mas deixe a parte interna organizada, por existir a questão estética e visual.



Figura 10 – Seção reservada para a hidráulica - fonte: autor



Figura 11 – Braçadeira para os filtros - fonte: autor



Figura 12 – Suporte para mangueiras - fonte: autor

1.4 Estrutura final

O acabamento foi todo feito em MDF 9mm pintado com tinta acetinada. A moldura de acesso ao aquário e as portas foram fixadas com dobradiças e rebites. O restante das chapas de MDF também foi fixado na estrutura com rebites.

A ideia principal da estrutura é ela poder ser 360. Os aquários podem ser vistos por qualquer pessoa de qualquer ângulo da estrutura. Isso é possível devido às janelas criadas tanto na frente quanto na parte de trás. O acesso aos aquários será feito por meio de um dos lados, o qual tem uma moldura móvel que pode ser levantada permitindo o livre acesso à parte interna.



Figura 13 – Vista traseira da estrutura - fonte: autor



Figura 14 – Vista frontal da estrutura - fonte: autor

Aqui vale ressaltar que a moldura de acesso, a tampa e o suporte dos displays ainda não foi fixado.



Figura 15 – Vista isométrica da estrutura - fonte: autor

1.5 Plano de integração

Com a finalização da estrutura e dos testes dentro de eletrônica/ energia a prioridade é a integração dos subsistemas. Principalmente no que tange o mecanismo de alimentação, o qual depende da atuação dos motores de passo, controlados por eletrônica. Também vale ressaltar a importância da determinação da posição dos componentes no baú, visto que pode existir algum tipo de interferência ou perda de dados. Já na parte de energia, a determinação da localização das válvulas, mangueiras e filtros é fundamental para a boa execução das tarefas de filtragem de água, troca de água e manutenção.

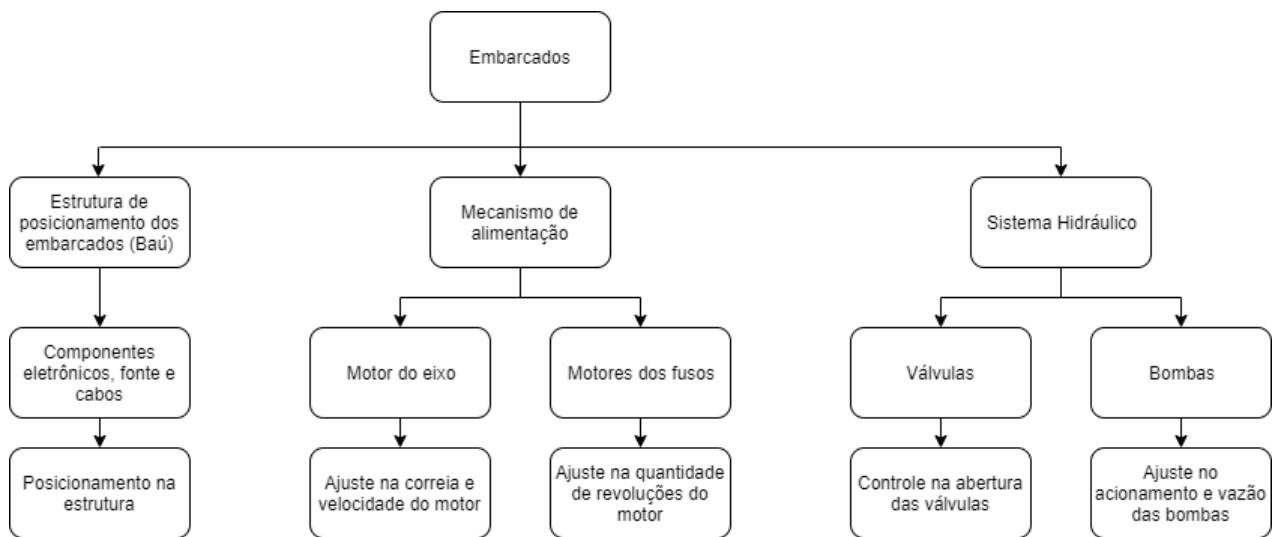


Figura 16 – Plano de integração com eletrônica e energia - fonte: autor

2 Energia

2.1 Aquecedor

Peixes são animais ectotérmicos, ou seja, eles regulam sua temperatura interna a partir da temperatura do ambiente em que estão inseridos. Cada espécie de peixe apresenta uma determinada temperatura para um melhor funcionamento do seu metabolismo.

Caso a água esteja a uma temperatura mais alta que a indicada, pode causar a deficiência de oxigênio dissolvido na água. A perda desse oxigênio pode resultar na morte das espécies de peixes inseridas no aquário de forma rápida. Contudo, o principal problema encontrado está nas mudanças de temperatura em curtos períodos.

Para determinar a temperatura ideal do aquário projetado, foi realizado um levantamento acerca dos principais peixes ornamentais existentes no mercado. Destacam-se na aquicultura 23 espécies de peixes tropicais de água doce, onde a temperatura ideal para sua sobrevivência está na faixa de 24°C a 26°C. Mantendo-se essa temperatura é possível ter um aquário com diversas espécies vivendo concomitantemente e em perfeitas condições vitais.

Para solucionar o problema de controle de temperatura no aquário será utilizado um aquecedor. O processo de transferência de calor do aquecedor é dado por convecção. Esse processo envolve a energia associada a um fluido: a transferência ocorre quando um fluido e uma superfície estão em diferentes temperaturas.

A maior variação de temperatura admitida em um aquário sem que haja danos significativos aos peixes é de 3°C a 5°C (CETESB, 2019). Portanto, as temperaturas mínima e máxima admitidas pelo sistema são:

$$T_{min} = 24 - 5 = 19^{\circ}C \quad (2.1)$$

$$T_{max} = 26 + 5 = 31^{\circ}C \quad (2.2)$$

Dessa forma, o aquecedor será acionado quando o sensor de temperatura indicar 19°C. O aquecimento será regulado por meio de um controlador PID. Ao atingir a temperatura de 24°C, o aquecedor será desligado. Essa temperatura foi escolhida pois, mesmo após o seu desligamento, o aquecedor continua aquecendo a água devido a diferença de temperatura entre eles, já que o aparelho demora um tempo de 30 minutos para resfriar totalmente.

De acordo com as recomendações do fabricante, a proporção de aquecimento é de 1 W para cada 1 litro de água, portanto a capacidade do aquecedor será de:

$$P = 70W \quad (2.3)$$

O aquecedor escolhido foi o modelo Master 80 W-220V, devido ao seu custo benefício e considerando que não há um aquecedor que seja acessível e que tenha capacidade de 70 W no mercado.

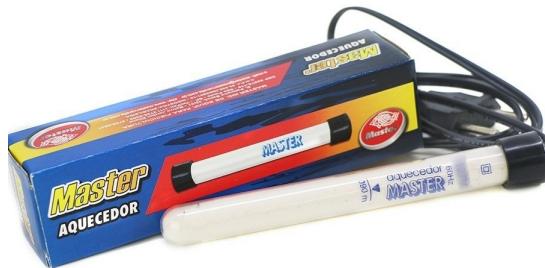


Figura 17 – Aquecedor escolhido - fonte: autor

O controle PID fará o aumento de temperatura de forma gradativa, já que mudanças de temperatura em curtos prazos pode prejudicar no sistema do aquário. Portanto o aquecimento de 5°C será realizado no período de uma hora, aproximadamente. O aumento do primeiro grau de temperatura demanda mais tempo que os subsequentes, a partir disso foi determinada a maneira que o aquecedor funcionará com o controlador PID:

Etapa	Temperatura de ajuste (°C)	Porcentagem de potência (%)	Potência (W)
1	19	100	80
2	20	80	64
3	22	60	48
4	24	-	-

Tabela 2 – Cálculos para o PID

Para se determinar esses valores utilizou-se a equação:

$$Q = \frac{mC_p\Delta T}{\Delta t} \quad (2.4)$$

Onde:

- Q é o calor transferido, contudo nesse contexto é utilizada a potência do aquecedor;
- ΔT é a diferença de temperatura que se deseja atingir;
- Δt é o tempo de aquecimento;
- $m = 997,07 \frac{kg}{m^3}$

- $C_p = 4184 \frac{J}{KgK}$

Na primeira etapa, quando o sensor detecta a temperatura de 19°C, aciona-se o aquecedor. O aparelho funcionará durante 16,6 minutos, com 100% de sua potência (80 W). Quando o sensor de temperatura indicar 20°C, inicia-se a segunda etapa.

Nessa etapa, o PID diminuirá a potência do aquecedor para 80%, ou seja, 64 W. Essa potência será utilizada durante aproximadamente 20,9 minutos, tempo necessário para que a temperatura do aquário suba para 22°C.

A terceira etapa se inicia com 22°C, quando a potência do aquecedor é alterada para 60%, utilizando 48 W. Essa potência é suficiente para aquecer a água do aquário até 24°C, esse processo dura aproximadamente 27,9 minutos.

Com 24°C, o aquecedor é desligado. Nesse momento encerra-se a quarta etapa e o processo de aquecimento da água do aquário. Todo o processo dura aproximadamente 65,4 minutos.

A localização do aquecedor deve ser escolhida visando o aquecimento uniforme do aquário, para tal, o aquecedor será instalado próximo a saída do filtro. Essa escolha se deve ao grande fluxo de água da região, resultando em uma melhor distribuição do calor ao longo de todo o aquário. O aquecedor deve estar totalmente submerso para total eficiência.

2.2 Troca de água

Com o passar do tempo, a água do aquário sofre muitas alterações em suas características iniciais. Os peixes liberam seus dejetos e outros tipos de elementos como o muco epitelial, gorduras, proteínas e ácidos.

Por isso, deve-se trocar a água do aquário periodicamente. Tal limpeza serve para retirar o excesso de sujeira que se acumula no fundo, elementos químicos e para renovar a água do aquário.

O presente projeto possui duas bombas para auxiliar na troca de água. As bombas irão drenar 20% do volume total, já que valores maiores de retirada prejudicam o ecossistema. As bombas serão posicionadas dentro de cada aquário, onde irão retirar a água considerada “suja” e direcioná-la para um reservatório de descarte que se encontra abaixo dos aquários.

Para se definir as bombas utilizadas para a troca de água, utilizou-se a seguinte equação:

$$H_{man} = H_g + \frac{V_A^2}{2g} + f_A \frac{L_A V_A^2}{D_A 2g} + f_R \frac{L_R V_R^2}{D_R 2g} \quad (2.5)$$

Onde:

- H_{man} é a altura manométrica;
- v é a velocidade;
- L é o comprimento das mangueiras;
- f é o fator de atrito;
- $H_g = H_A + H_R$;
- $D_A = 0,0055$ m;
- $D_R = 0,0045$ m;
- $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$

1. Linha de aspiração (A)

- Velocidade

$$V_A = \frac{Q}{A_A} = \frac{2,5 \times 10^{-5}}{\pi(2,75 \times 10^{-3})^2} = 1,052 \frac{m}{s} \quad (2.6)$$

- Fator de atrito

$$Re = \frac{V_A D_A}{v} = \frac{1,052 \times 0,0055}{10^{-6}} = 5787,45 \quad (2.7)$$

$$f_A = 0,316 Re^{\frac{-1}{4}} = 0,316 \times (5787,45)^{\frac{-1}{4}} = 0,036 \quad (2.8)$$

- Perda de carga

$$L_A = L + L_{eq} = 0 \quad (2.9)$$

$$f_A \frac{L_A V_A^2}{D_A^2 2g} = 0 \quad (2.10)$$

A perda de carga na aspiração é nula devido a bomba estar submersa no aquário.

2. Linha de recalque (R)

- Velocidade

$$V_R = \frac{Q}{A_R} = \frac{2,5 \times 10^{-5}}{\pi(2,25 \times 10^{-3})^2} = 1,57 \frac{m}{s} \quad (2.11)$$

- Fator de atrito

$$Re = \frac{V_R D_R}{v} = \frac{1,572 \times 0,0045}{10^{-6}} = 7073,55 \quad (2.12)$$

$$f_R = 0,316 Re^{\frac{-1}{4}} = 0,316 \times (7073,55)^{\frac{-1}{4}} = 0,034 \quad (2.13)$$

- Perda de carga

$$L_R = L + L_{eq} = 1,08 + 0,66 = 1,68m \quad (2.14)$$

$$f_R \frac{L_R V_R^2}{D_R^2 2g} = 0,034 \frac{1,68 \times (1,57)^2}{0,0045 \times (2 \times 9,81)} = 1,59 \quad (2.15)$$

A perda de carga na aspiração é nula devido a bomba estar submersa no aquário.

Portanto, a equação principal se dá por:

$$H_{man} = 0,78 + \frac{(1,052)^2}{(2 \times 9,81)} + 0 + 1,59 = 2,42m.c.a. \quad (2.16)$$

De acordo com os cálculos realizados, será utilizada uma mini bomba de água submersível de 5 V em cada aquário, com uma vazão de $90 \frac{L}{H}$.



Figura 18 – Bomba de descarte - fonte: autor

O funcionamento da bomba é coordenado por um sensor de nível d'água, que monitora constantemente a quantidade de água existente no aquário. Quando chega o momento de trocá-la, após os 15 dias programados para tal, o sensor verifica se a quantidade de água presente no aquário está dentro de um nível aceitável, ou seja, o aquário deve estar com pelo menos 75% do seu volume total.

Caso o nível de água esteja correto, o sensor acionará a bomba de troca d'água que descartará 20% do volume no reservatório. Durante esse processo, o filtro não funcionará para que não afete a troca de água. Ao fim do processo de retirada do nível estipulado, desliga-se a bomba de troca e aciona-se a bomba do filtro. A água presente no reservatório “de água nova” é bombeada até o filtro, passa pelo processo de filtragem e é inserida no aquário até que se complete-o novamente.

É fundamental que a água “nova” passe pelo filtro antes de ser inserida ao aquário. Tal ação é necessária para remover o cloro e outras impurezas, deixando-a o mais parecida possível com a água que já está no aquário.

2.3 Filtragem

O aquário é constituído por um sistema pequeno e fechado, devido a isso a água não é renovada naturalmente, ou seja, a água é a mesma por um longo período, tornando o ambiente tóxico em alguns dias. Para sanar esse problema é necessário que se faça a filtragem da água contida no aquário. Os principais resíduos que tornam a água imprópria são: a amônia (liberada a partir das fezes dos animais), alimentos não consumidos e outros materiais em decomposição.

Para se realizar a filtragem da água contida no aquário será acoplado um filtro do tipo hang on, que possui o objetivo de eliminar os resíduos. Desse modo, mantém-se a qualidade da água do aquário em condições ideais para sobrevivência dos peixes. A filtragem é feita por processos físicos, químicos e biológicos, respectivamente.

- Filtragem mecânica (física): tem como objetivo reter partículas maiores (resíduos sólidos) como: restos de comida, pequenos pedaços de plantas e excrementos dos peixes;
- Filtragem biológica: realizada a partir de uma colônia de bactérias que se encontram dentro do filtro. Tem como objetivo converter a amônia gerada pelos resíduos do aquário em nitrato, onde posteriormente é transformado em composto inorgânico, deixando a água com um maior nível de pureza;
- Filtragem química: realizada com o uso de elementos filtrantes, como o carvão ativado. Tem como objetivo reter substância a nível molecular e eliminar odores da água.

O filtro construído irá sugar a água com o auxílio da bomba e terá três estágios de filtragem. A primeira consiste na mecânica que será feita a partir de malha sintética de perlon. O segundo será a filtragem biológica que será feita com cerâmicas e por fim, o terceiro será a etapa química a partir de carvão ativado.

A primeira mídia, que é composta pela manta de perlon, deve ter duas camadas para atender aos requisitos técnicos de filtragem. A segunda e a terceira mídias, biológica e química respectivamente, obedecem a relação de 1 grama para cada 1 litro de água do aquário.

$$m_{carvão} = 70g \quad (2.17)$$

$$m_{cerâmica} = 70g \quad (2.18)$$

Para comportar a bomba e as três mídias, o filtro foi construído com uma altura de 41 cm e diâmetro de 100 mm. O corpo do filtro foi construído com PVC e as mídias foram

feitas a partir de grades coladas a pedaços de PVC. Para colagem e vedação utilizou-se cola de PVC, silicone e superbonder, validados com testes feitos em água. Os testes constituíram na submersão dos componentes em água por mais de 24 horas.



Figura 19 – CAD: Vista lateral do filtro - fonte: autor



Figura 20 – CAD: Vista isométrica do filtro - fonte: autor



Figura 21 – CAD: Vista explodida do filtro - fonte: autor

Nessa última imagem é possível observar a estrutura interna de suporte das mídias, a qual foi projetada para facilitar a troca desses componentes quando necessário.

Para se definir a bomba utilizada no filtro, utilizou-se a seguinte equação:

$$H_{man} = H_g + \frac{V_A^2}{2g} + f_A \frac{L_A V_A^2}{D_A 2g} + f_R \frac{L_R V_R^2}{D_R 2g} \quad (2.19)$$

- H_{man} é a altura manométrica;
- v é a velocidade;
- L é o comprimento das mangueiras;
- f é o fator de atrito;
- $H_g = H_A + H_R$;
- $D_A = 0,023$ m;
- $D_R = 0,009$ m;
- $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$

1. Linha de aspiração (A)

- Velocidade

$$V_A = \frac{Q}{A_A} = \frac{7,78 \times 10^{-5}}{\pi(0,0115)^2} = 0,187 \frac{m}{s} \quad (2.20)$$

- Fator de atrito

$$Re = \frac{V_A D_A}{v} = \frac{0,187 \times 0,023}{10^{-6}} = 4306,87 \quad (2.21)$$

$$f_A = 0,316 Re^{\frac{-1}{4}} = 0,316 \times (4306,87)^{\frac{-1}{4}} = 0,039 \quad (2.22)$$

- Perda de carga

$$L_A = L + L_{eq} = 1,9 + 3,4 = 5,3m \quad (2.23)$$

$$f_A \frac{L_A V_A^2}{D_A^2 2g} = 0,039 \frac{5,3 \times (0,187)^2}{0,023 \times (2 \times 9,81)} = 0,039 \quad (2.24)$$

2. Linha de recalque (R)

- Velocidade

$$V_R = \frac{Q}{A_R} = \frac{7,78 \times 10^{-5}}{\pi(4,5 \times 10^{-3})^2} = 1,22 \frac{m}{s} \quad (2.25)$$

- Fator de atrito

$$Re = \frac{V_R D_R}{v} = \frac{1,22 \times 0,009}{10^{-6}} = 11006,45 \quad (2.26)$$

$$f_R = 0,316 Re^{\frac{-1}{4}} = 0,316 \times (11006,45)^{\frac{-1}{4}} = 0,031 \quad (2.27)$$

- Perda de carga

$$L_R = L + L_{eq} = 0,75 + 0,8 = 1,55m \quad (2.28)$$

$$f_R \frac{L_R V_R^2}{D_R^2 2g} = 0,034 \frac{1,55 \times (1,22)^2}{0,009 \times (2 \times 9,81)} = 0,41 \quad (2.29)$$

Portanto, a equação principal se dá por:

$$H_{man} = 0,8 + \frac{(0,187)^2}{(2 \times 9,81)} + 0,016 + 0,41 = 1,23m.c.a. \quad (2.30)$$

De acordo com os cálculos apresentados, escolheu-se a Moto Bomba Submersa S300 Sarlobetter, de $280 \frac{L}{H}$. A bomba conduz a água até o filtro, onde passará pelos 3 estágios de filtragem. Por fim, é bombeada novamente para dentro do aquário.

Tal bomba, foi testada no sistema de filtragem e sua vazão se mostrou eficaz para o projeto. O aparelho contém um regulador de entrada de ar, contudo testes mostraram que há uma maior vazão quando o regulador está totalmente fechado.



Figura 22 – Bomba filtro300 - fonte: autor

O filtro construído se posicionará na parte externa do aquário, pela facilidade de manutenção. Vale ressaltar que as mídias de filtragem devem ser trocadas à medida que saturarem, ou de forma mensal.



Figura 23 – Suporte para as mídias I - fonte: autor



Figura 24 – Suporte para as mídias II - fonte: autor



Figura 25 – Filtros - fonte: autor

2.4 Diagrama de fluxo de água

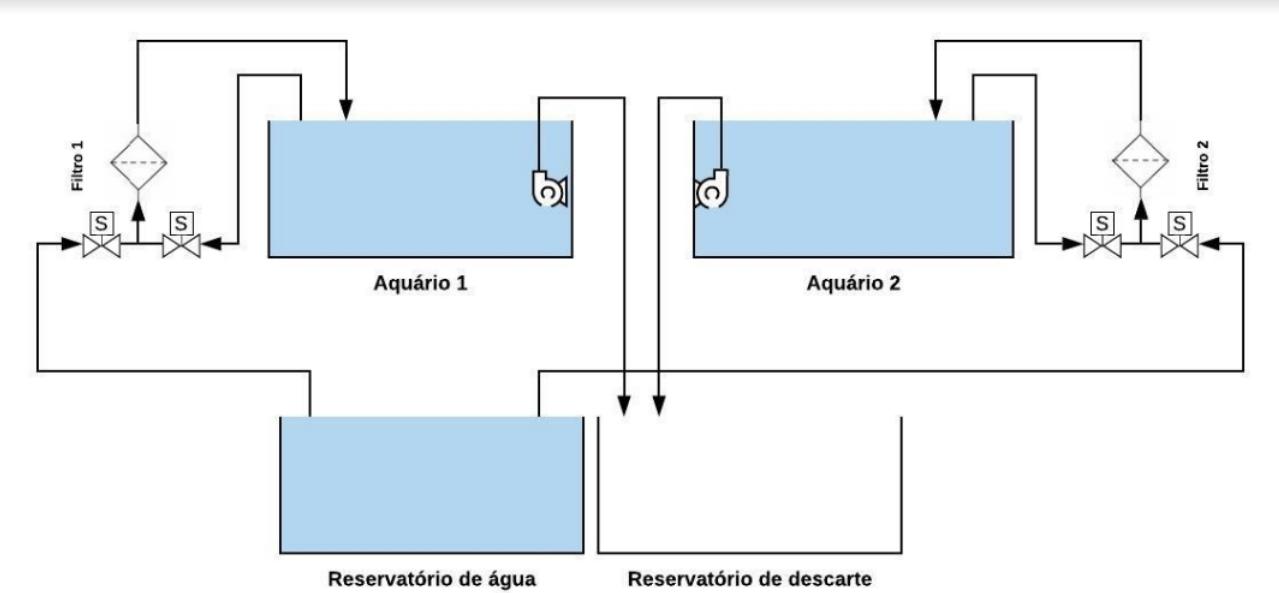


Figura 26 – Diagrama do fluxo de água - fonte: autor

2.5 Nobreak

Considerando o uso do nobreak apenas para os sistemas críticos do projeto, as bombas de filtragem de água, existe a necessidade de um inversor de tensão no sistema para que possam ser efetivamente alimentadas, já que são de 220V.

Equipamento	Quantidade	Corrente total	Potência total
Bomba s300	2	63,63 mA	14 W

Tabela 3 – Valores de potência e corrente sistema crítico

Considerando a autonomia de 1 hora, têm-se o total de 14Wh que precisam ser supridos pelo nobreak. Para a escolha da bateria deve-se de achar a corrente em Ah, de acordo com os cálculos a corrente necessária é de 0,06363 Ah. Levando em conta um fator de potência sobre a carga de 80% e uma descarga de 30% da bateria, resulta o valor de 0,26Ah. Dessa forma, com a utilização de uma bateria de 12V e 5Ah o sistema crítico permanece funcionando por aproximadamente 19 horas. Essa bateria foi escolhida pela sua disponibilidade no mercado.

Para acionar o sistema do nobreak e fazer o chaveamento da rede para a bateria, um circuito de verificação de tensão foi elaborado. Este aciona um relé quando há tensão na rede e mantém o contato normalmente aberto funcionando, conectando as bombas à rede. Quando ocorre a queda de tensão, o chaveamento passa o contato normalmente fechado e o sistema passa a ser alimentado pelo inversor, que é alimentado pela bateria. O circuito de chaveamento pode ser visto na figura abaixo.

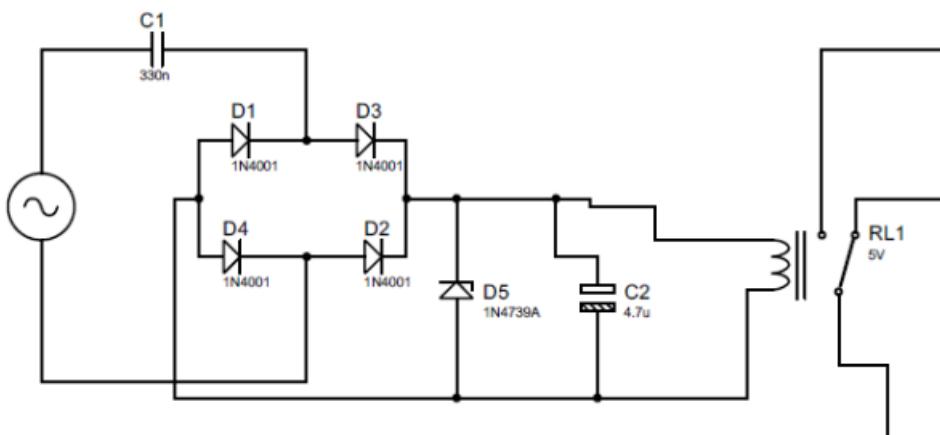


Figura 27 – Circuito de chaveamento Nobreak - fonte: autor

2.6 Fonte

Para a fonte de alimentação foi utilizado um sistema com transformador de 220V para 18V e dois conversores dc-dc step down para as saídas de 12V e de 5V. O circuito montado contém uma ponte de diodos na saída do transformador, a qual retifica a tensão, e em seguida capacitores de $2200\mu\text{f}$ e 50V para fazer a filtragem da tensão pulsante que saí da ponte retificadora.

Para a determinação dos capacitores foi utilizada a relação de $1000\mu\text{f}$ para 1A de corrente, visto que o transformador tem uma capacidade de até 5A seria necessário uma capacitância de $5000\mu\text{f}$, mas durante os testes dois capacitores se mostraram suficientes para fazer a filtragem.

Na saída dos capacitores há um ripple na energia, mas com o uso dos conversores é possível a entrada da energia com o ripple e uma saída retificada. Os conversores dc-dc são alimentados pela saída dos capacitores e foram regulados um com a saída de 12V e outro com 5V, que já foram testadas e estão funcionais. O circuito da fonte pode ser vistos na figura abaixo.

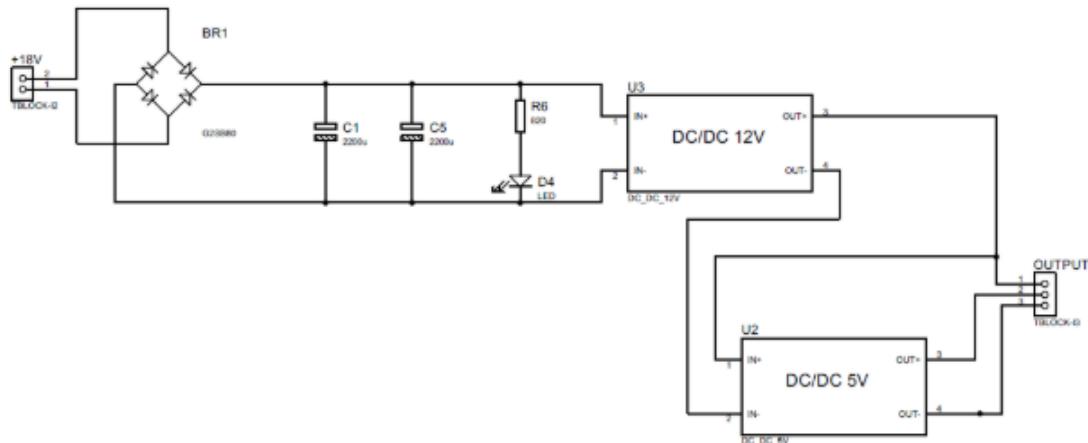


Figura 28 – Circuito da fonte de alimentação - fonte: autor

2.7 Plano de integração

A integração de energia será com estruturas e eletrônica. Energia e estruturas definem a organização da hidráulica e a melhor maneira de posicionar os componentes para se ter uma manutenção mais prática e a facilidade de indentificar focos de problema, um vazamento em alguma mangueira, por exemplo. Já com eletrônica, o acionamento das válvulas e bombas deve ser feito, bem como o controle do nível de água.

3 Eletrônica

3.1 Descrição geral

A aplicação deste projeto tem como propósito o âmbito comercial, no qual visa o monitoramento de múltiplos aquários. Assim, buscando a melhor solução para atender tais recipientes de forma individual e para suas exclusivas condições, dividiu-se o projeto em dois elementos: uma Unidade de Controle Central (Raspberry), este ficará responsável pelo controle de envio e recebimento de dados do software/app, assim como ativar os atuadores para controlar o mecanismo de alimentação. E um subsistema, chamado aqui de Subsistema Aquário, que será controlado pelo microcontrolador (MSP430) e será responsável por analisar os dados coletados pelos sensores e por controlar os atuadores responsáveis pela manutenção do ecossistema equilibrado dentro do aquário. Com essa divisão, as aferições serão realizadas separadamente, além disso, para maior facilidade de apresentação, demonstraremos o funcionamento apenas com dois aquários, mas será possível aumentar esse número, de acordo com o desejo do cliente.

Na figura abaixo pode-se observar o diagrama de blocos referente a esta integração, no qual observa-se a Raspberry (Unidade de Controle Central) e os subsistemas Aquário (MSP430).

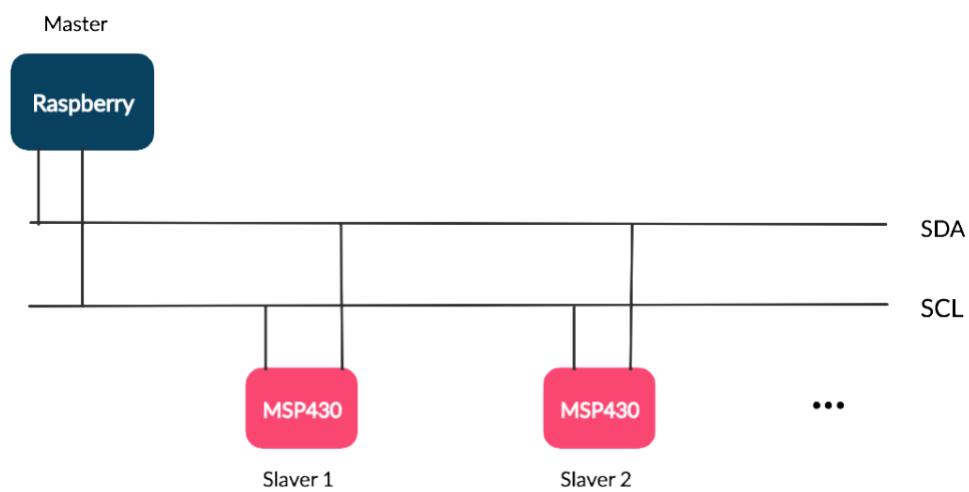


Figura 29 – Diagrama da comunicação I2C - fonte: autor

Para a comunicação de dados do controlador central com os múltiplos microcontroladores é necessário um protocolo de comunicação, regras ou métodos deliberados utilizados entre os dispositivos a fim de enviar ou receber informação. Ao examinar os controladores empregues, notou-se que ambos são compatíveis com três protocolos de co-

municações seriais, a UART (Receptor-Transmissor Assíncrono Universal), I2C(Circuito Inter-Integrado) e SPI (Barramento de interface periférica serial).

Tendo em vista a necessidade de integração de variados dispositivos, definiu-se a aplicação do protocolo de comunicação I2C para a conexão entre o controlador central e os microcontroladores. Outra observação importante é que, dentre os protocolos analisados, este é o único com a possibilidade de confirmação de recebimento e envio de dados, além de exigir uma quantidade menor de fios para a comunicação, o que otimiza as portas IO do controlador central, no caso a Raspberry Pi.

3.2 Dispositivos gerais de eletrônica

Para o funcionamento do projeto foram escolhidos componentes eletrônicos capazes de realizar o sensoriamento e o controle dos atuadores na unidade de controle central e no subsistema Aquário.

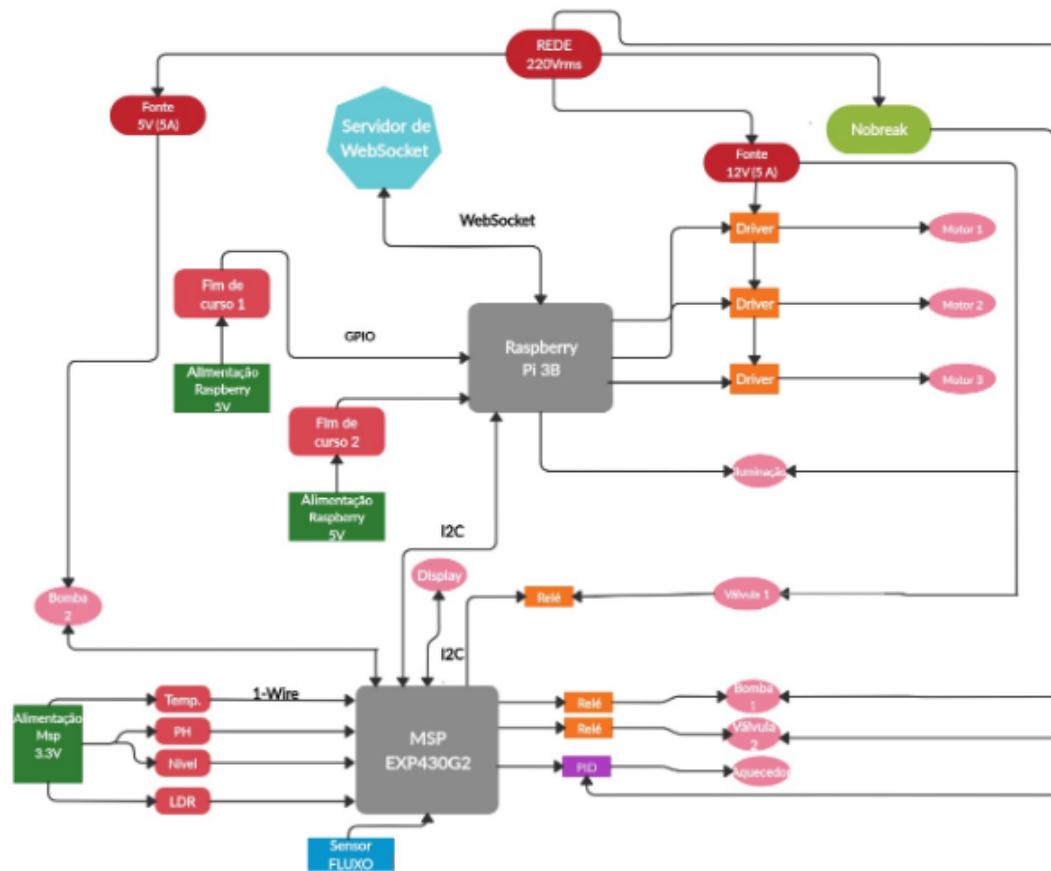


Figura 30 – Diagrama do sistema eletrônico completo - fonte: autor

No subsistema Aquário, os componentes eletrônicos realizarão o sensoriamento da temperatura, do pH, do volume de água, do fluxo e também acionarão os atuadores, como

válvulas, bombas e aquecedor . Já na unidade de controle central, os componentes farão o controle da iluminação interna do aquário, do movimento dos eixos do mecanismo de alimentação, por meio dos motores e do sensor eletromecânico fim de curso. Além disso, a eletrônica também será responsável por realizar a comunicação entre o hardware e o software/app.

3.2.1 Unidade de controle central

Esta unidade será responsável pelo controle de todo o projeto, é aqui que será realizada a comunicação entre o hardware o software/app. Como é possível observar no diagrama, além da Raspberry realizar a comunicação com o servidor, ela também será responsável por acionar e controlar o mecanismo de alimentação e a iluminação do aquário. Isso foi definido para que tudo que for em comum para os dois aquários (ou N aquários) seja controlado especificamente pela Raspberry.

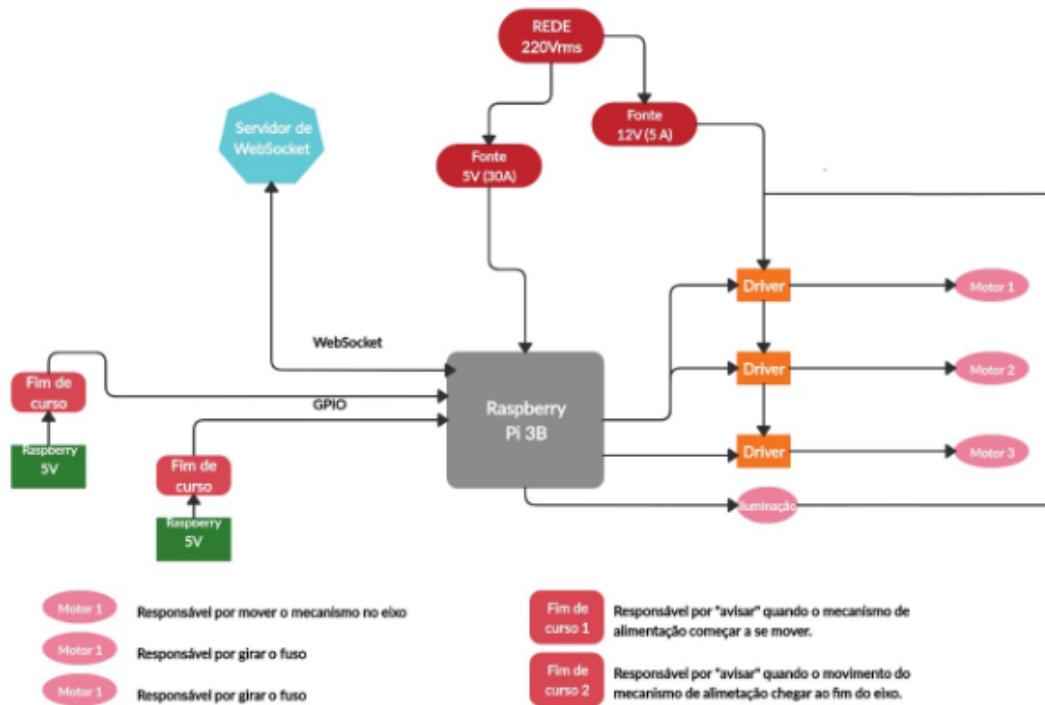


Figura 31 – Diagrama da Unidade de Controle Central - fonte: autor

Como “cérebro” desta Unidade, tem-se a Raspberry Pi 3, essa escolha é devido ao fato da Raspberry possuir um sistema operacional Linux que permite a integração do hardware de controle com o aplicativo, além de admitir diferentes linguagens de programação e possuir conexão WI-FI necessária para o envio e recepção de dados do aplicativo.



Figura 32 – Raspberry Pi 3 - fonte: autor

Os componentes eletroeletrônicos desta unidade são a Raspberry, os motores de passo e os sensores eletromecânicos fim de curso. Serão usados três motores de passo, sendo um responsável pelo movimento do eixo de alimentação no eixo Z e os outros dois rotacionarão os furos.

Os três motores de passo utilizados serão iguais, o modelo escolhido foi o 28BYJ-48. Possui um redutor embutido com uma relação de 1/64, o que o adequa muito bem ao projeto pois essa redução possibilita mover uma carga maior com um motor mais fraco, em contrapartida, perde-se em velocidade. O motor em questão possui passo de $5,625^\circ$ o que garante uma precisão de 0,32 mm no deslocamento do mecanismo, caso seja necessário ainda é possível aumentar sua precisão utilizando o acionamento com micropassos. Sua alimentação é de 5V e consome baixa corrente, o que também se adequa ao projeto.

Tendo como base uma simulação feita com a ferramenta de dimensionamento de motor atuador com correia, o caso do mecanismo do projeto, e utilizando os parâmetros do projeto e informações do catálogo de rolamentos e guias THK, o torque necessário para mover a estrutura 400mm em 30 segundo é inferior ao torque de 34,3 mN.m entregues pelo motor. Além disso, tanto o motor quanto o driver que o acompanha são pequenos, o que acaba facilitando a montagem. Tudo isso torna a utilização do motor escolhido viável.



Figura 33 – Motor de passo 28BYJ-48 - fonte: autor

Tomando como base as especificações elétricas dos motores, escolheu-se o Driver ULN2003, mostrado na figura a seguir. Este possui um conjunto de sete transistores chamados transistores Darlington, isso possibilita que os pinos da Raspberry, que fornecem uma corrente reduzida, possam controlar o motor de passo.

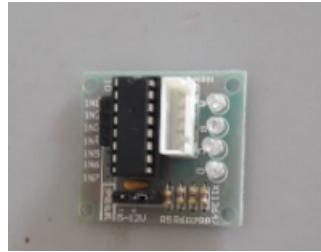


Figura 34 – Driver ULN2003 - fonte: autor

De acordo com seu datasheet, o driver suporta corrente na ordem de 500mA por fase para acionar cada um dos motores. Outra razão para a sua escolha foi a capacidade de suportar a tensão de alimentação do motor e a ativação das entradas de controle pode ser feito a um nível lógico de 3.3V, o mesmo utilizado pela Raspberry Pi 3.

Também têm-se o sensor eletromecânico Fim de curso mostrado na Figura abaixo. Serão utilizado dois para o mecanismo de alimentação, o primeiro para indicar o início da movimentação do eixo e o outro para indicar o fim do seu campo de movimento. Possui um papel fundamental nesse projeto já que enviará um sinal elétrico para o motor determinando sua parada ou inversão da rotação quando o eixo de alimentação chegar ao fim.



Figura 35 – Sensor de fim de curso - fonte: autor

3.2.2 Subsistema aquário

Cada aquário terá o subsistema mostrado na Figura abaixo. Neste projeto o funcionamento será demonstrado para dois quários, mas o sistema é escalável, sendo possível acoplar N outros aquários à unidade de controle central.

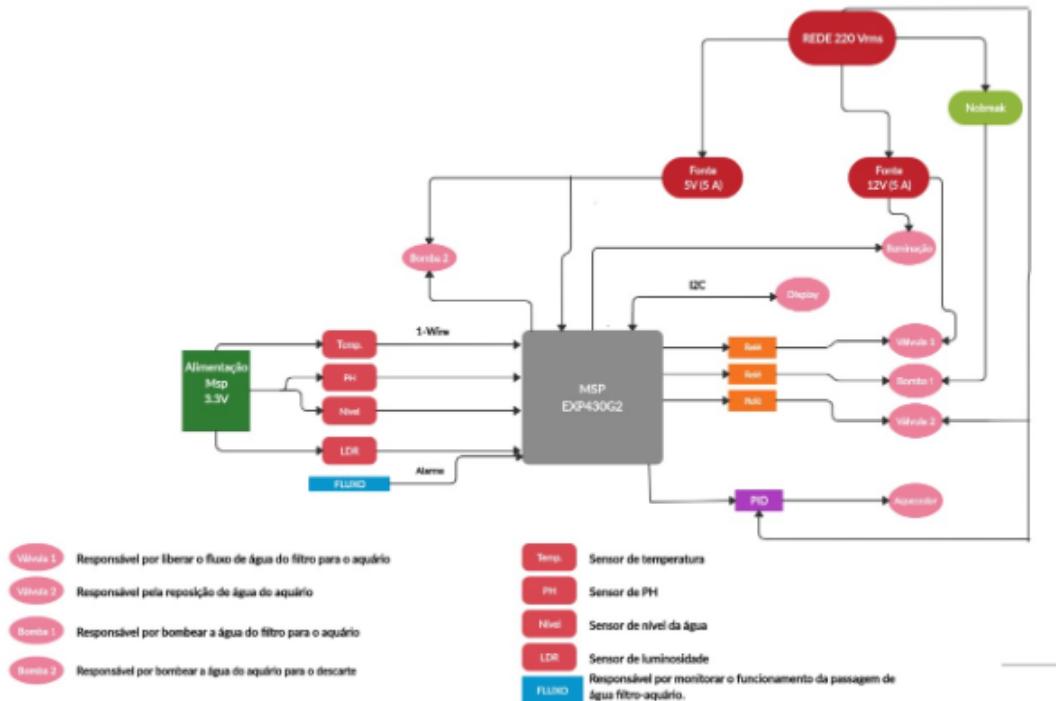


Figura 36 – Diagrama do Subsistema Aquário - fonte: autor

Como é possível observar no diagrama, tem-se o microcontrolador MSP430, responsável por coletar os sinais analógicos enviados pelos sensores e converter em sinais elétricos e, a partir disso, tomar decisões, como ativar ou não atuadores.

A seguir, serão apresentados os funcionamentos de forma resumida dos componentes eletrônicos escolhidos para esse subsistema, começando pelo microcontrolador MSP430 e pelo Display LCD e a seguir pelos sensores (temperatura, PH, nível de água, luminosidade e fluxo).

A escolha do microcontrolador MSP430 se deu por ele possuir um conversor A/D de 10 bits de resolução para realizar as leituras analógicas dos sensores, por ser de ultra-baixo consumo de energia e da sua relativa facilidade de compilação em linguagem C.

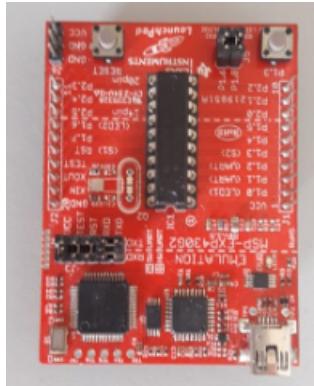


Figura 37 – MSP-EXP430G2 - fonte: autor

Caso o cliente perca a comunicação com o aplicativo ou simplesmente não queira acompanhar pelo celular, será possível visualizar os dados (Identificação do Aquário, temperatura atual e próximo horário de alimentação) em um display LCD fixado na estrutura. O display escolhido para tal propósito foi o backlight azul 16x2 mostrado na Figura a seguir.



Figura 38 – Display LCD 16x2 - fonte: autor

Já para aferição da temperatura dentro do aquário foi escolhido o sensor de temperatura DS18b20 por ser à prova d’água e recomendado para ambientes úmidos e molhados. O mesmo trabalha com uma tensão de operação de 3 à 5.5V, tensão ideal para o projeto. Além disso, ele também é conhecido por sua excelente precisão, por permitir leituras de 9 a 12 bits de resolução e ler temperaturas na faixa de 55 °C e 125 °C ($\pm 0,5 °C$).

Outro motivo é que, diferente da maioria de sensores de temperatura encontrados no mercado, o DS18b20 é um sensor digital, ou seja, em vez de fornecer valores de tensão e corrente analógicos para serem convertidos por um microcontrolador, já realiza essa conversão e envia a temperatura em graus Celsius utilizando o protocolo de comunicação One Wire ou 1-wire, que é uma interface de apenas um fio.

Este sensor enviará a informação da temperatura interna do aquário para o microcontrolador, caso essa temperatura seja 19°C, a MSP430 tomará a decisão de acionar o aquecedor até que a temperatura interna do aquário se estabilize em 24°C.

O sensor é exibido a seguir.



Figura 39 – Sensor à prova D'água DS18b20 - fonte: autor

Para medir o ph da água do aquário, utilizaremos um sensor que trabalha com uma tensão de operação de 5V e dentro da faixa de 24-26 °C e de 5,5-8,5 pH, estas sendo as faixas de temperatura e pH ideais para peixes de aquário. Para que o controle do pH seja feito de forma a atender os requisitos desejados é necessário que a precisão do aparelho de medição compreenda a faixa de 0.3 pH.

O objetivo é que sensor envie a informação sobre o PH para o microcontrolador MSP430 e o mesmo repasse para Raspberry, que fará a comunicação com o servidor e avisará o usuário através do aplicativo se é necessário ou não um ajuste de PH manual.

Diante disso, escolheu-se o Sensor medidor de pH com módulo BNC mostrado abaixo.



Figura 40 – Sensor de pH com módulo BNC - fonte: autor

Na figura acima, à direita é possível observar uma sonda de pH e à esquerda uma placa condicionadora de sinal que fornece uma saída de tensão proporcional ao valor de pH

que será conectada diretamente ao microcontrolador MSP430, para que o mesmo realize a leitura analógica.

Outro sensor importante no projeto é o sensor de luminosidade LDR, trabalha numa faixa de temperatura de -30 à 70°C e será utilizado para que não haja gasto de energia desnecessário. O mesmo nos dirá se a luminosidade do ambiente externo é o bastante para satisfazer as condições do aquário, caso isso seja verdade, a Raspberry não ativará a iluminação interna.



Figura 41 – Sensor de Luminosidade – LDR - fonte: autor

Já para o monitoramento do nível da água do aquário foi escolhido o sensor ultrasônico HC-SR04, por trabalhar com uma tensão de 3.3V, ideal para nosso projeto, e além disso por possuir um baixo custo e um fácil manuseio. O sensor ultrassônico funciona emitindo ondas sonoras com frequência de 400 kHz, faixa não audível ao ser humano, por um período de 10µs. Essas ondas viajam, dentro de sua faixa medição, até se chocarem com um objeto onde serão refletidas até o receptor.



Figura 42 – Sensor HC-SR04 - fonte: autor

A distância entre o sensor e o objeto no qual ocorreu esta reflexão pode ser calculada medindo o tempo gasto do envio da onda até o seu recebimento , como observado na equação a seguir (BAKKER, 2015).

$$Distância = \frac{velocidade\ do\ som \frac{cm}{\mu s} \times tempo\ \mu s}{2} [cm] \quad (3.1)$$

Nota-se na equação uma divisão por dois, isso é devido a distância de propagação da onda do ponto de reflexão até o ponto de recebimento, ou seja, metade do caminho da onda transmitida até a sua recepção.

O objetivo deste sensor é enviar informações sobre o volume de água no aquário para o microcontrolador MSP430 e este tomar decisões, como acionamento de bombas e válvulas.

O grupo também achou de suma importância acrescentar um sensor de fluxo para detectar possíveis falhas no fluxo de água entre o filtro e o aquário, pois o filtro realiza a oxigenação do aquário, fator vital para os peixes. Caso haja uma falha, o sensor (Figura O) emitirá um pulso para a MSP430 e assim o usuário ficará ciente do problema para assim tomar as devidas providências.



Figura 43 – Sensor de Fluxo YF-S201 - fonte: autor

Este sensor trabalha com uma tensão de operação de 5 à 18V, possui um rotor de água e um sensor de efeito Hall. A água que flui nesse rotor faz com que o mesmo gire e o sensor de efeito hall faz a leitura desta velocidade e emite um pulso de sinal para o microcontrolador correspondente.

3.3 Aquecedor

Como já foi comentado em seções anteriores, haverá um sensor de temperatura no aquário, caso esse sensor meça uma temperatura de 19°C, um aquecedor comercial será ativado. Com o objetivo de controlar esse aquecedor de forma mais refinada, neste ponto de controle, a eletrônica modelou o aquecedor utilizando-se do software OCTAVE, também testou seus circuitos em laboratório, e por último confeccionou os layouts das placas no software Easyeda.

3.3.1 Modelagem do aquecedor

De acordo com SALES(2018), geralmente os modelos térmicos são aproximados por um sistema de primeira ordem com atraso, como pode ser visto na equação a seguir:

$$G(S) = \frac{Ke^{-Ls}}{\tau s + 1} \quad (3.2)$$

Onde:

- K é o ganho;
- τ é a constante de tempo;
- L é o atraso de transporte.

Os valores foram pensados de forma que o aquecimento total de 5 °C seja feito no período aproximado de 1 hora , por conta da restrição de alteração de temperatura dos peixes.

Como queremos que o aquecedor desligue em 24°C, esse será o ganho K da planta, a constante de tempo τ é o tempo estimado para se atingir 63% do ganho K, que encontramos no valor de $\tau = 1.008 \times 10^4$ s e por último nosso tempo de atraso L, que encontramos no valor de $L = 1.008 \times 10^4$ s. Então a função de transferência desse modelo se resumirá em:

$$G(S) = \frac{24e^{-1.008s}}{10.88 \times 10^3 s^2 + 1} \quad (3.3)$$

Fazendo as devidas aproximações, têm-se a função de transferência desejada do aquecedor comercial:

$$G(S) = \frac{24}{10.97 \times 10^6 s^2 + 1.189 \times 10^4 s + 1} \quad (3.4)$$

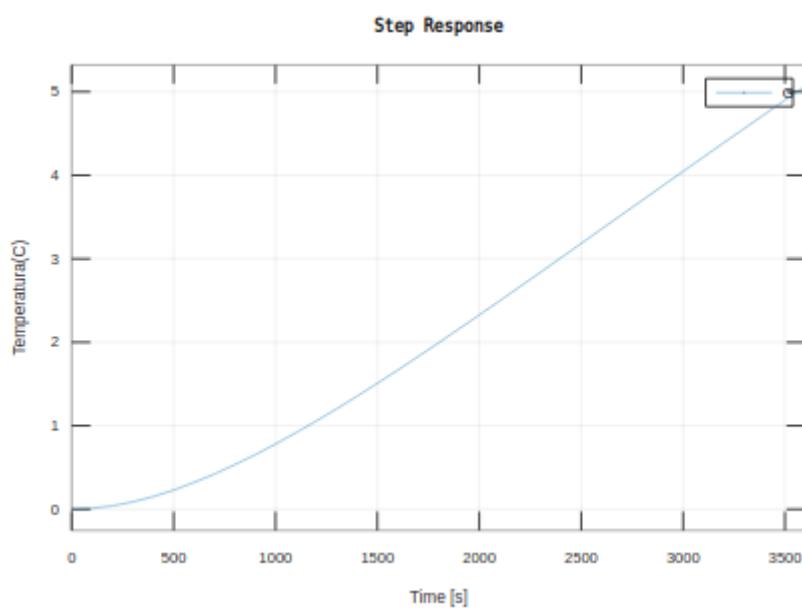


Figura 44 – Resposta ao degrau da função de transferência do aquecedor - fonte: autor

Na Figura acima é possível observar que cerca de 1 hora (3600 segundos) a temperatura aumentará 5°C. Ou seja, o aquecedor será ativado aos 19°C e em cerca de 1 hora atingirá 24°C e será desligado. Na Figura Q tem-se o mesmo gráfico mas com um range maior de tempo para uma melhor análise, nele é possível observar a estabilidade do modelo depois de certo período.

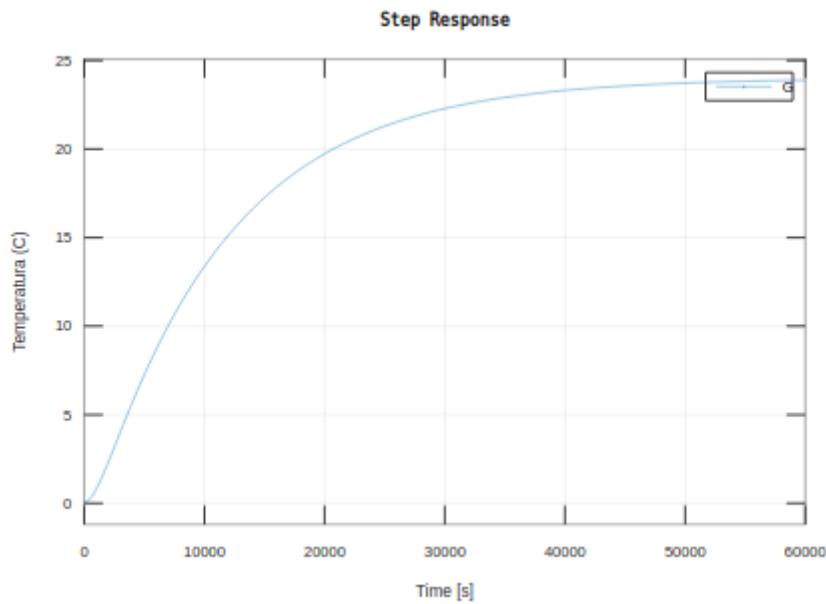


Figura 45 – Resposta ao degrau da Função de transferência do Aquecedor - fonte: autor

Para controlar esse aquecedor de forma refinada e que atenda as especificações do projeto será necessário utilizar-se de uma técnica de controle de processos chamada PID.

3.3.2 PID

O PID, é uma técnica de sistemas de controle em malha fechada, cuja função básica é calcular a resposta de saída de um atuador, comparando-se um valor medido com um valor de desejado (SILVEIRA, 2017). Neste projeto esses valores serão obtidos através do sensor de temperatura ds18b20, o qual irá gerir a resposta do atuador, o aquecedor.

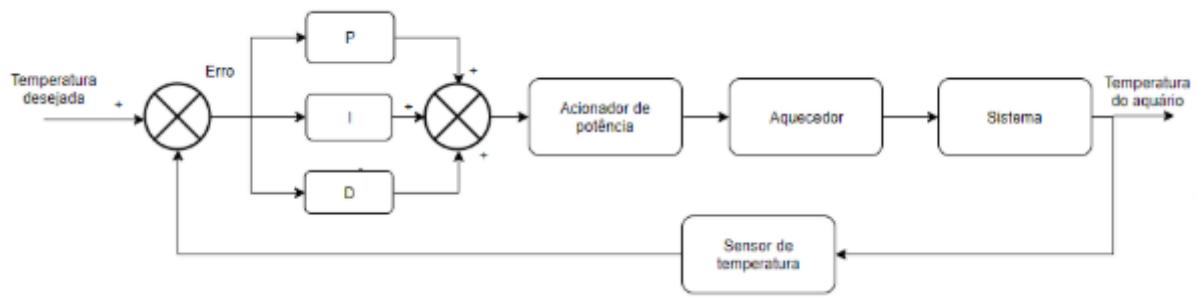


Figura 46 – Estrutura PID do projeto - fonte: autor

A partir da imagem, verifica-se a representação por diagrama de blocos do sistema de controle de aquecimento do aquário. Para a implementação deste controlador automático é necessário realizar o desenvolvimento matemático associado ao problema. Uma maneira análoga para o entendimento da proposta de solução pode ser acompanhada abaixo.

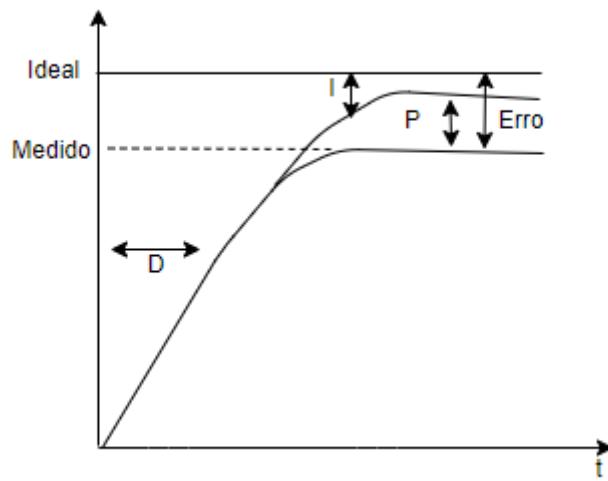


Figura 47 – Gráfico representativo de um controle PID - fonte: autor

Como já descrito, o controle PID calcula a resposta do atuador comparando o valor medido, com um valor real (Ideal). A intenção é aproximar o valor medido com o valor de temperatura fixado como referência no aquário, reduzindo-se ao máximo esta distância. A diferença entre o valor medido e o valor de referência é determinada como erro.

$$e(t) = \text{Valor real} - \text{Valor medido} \quad (3.5)$$

O primeiro comando de aproximação é o proporcional. Com ele um resultado melhor é obtido multiplicando-se uma constante de proporção pelo erro, este sendo nulo

ou tendendo a zero, pois a resposta permanente não é linear. Por ser acomulativo, o erro ainda irá existir, mesmo que pequeno.

A próxima etapa é a parcela integral na qual soma-se todos os erros ao longo de um período, multiplicando-os com uma constante de integração. Como os erros tendem a zero, o valor deste somatório é zero ou bem próximo dele.

A parcela derivativa é o que diz respeito ao tempo de resposta deste sistema, ou seja, o quanto rápido consegue-se aproximar o valor medido para o valor desejado. Análogo ao nome, essa parcela é dada fazendo-se a derivada do erro em relação ao tempo.

O controle final, é dado pela seguinte função:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^T e(t) dt + K_d \frac{e(t)}{dt} \quad (3.6)$$

Onde:

- K_p é a constante de proporção;
- K_i é a constante de integração;
- K_d é a constante de derivação;
- $e(t)$ o erro.

3.3.3 Controle do aquecedor

O objetivo de projetar um controlador é que o mesmo altere as medidas de desempenho da variável manipulada (aquecedor), como tempo de subida, tempo de acomodação, porcentagem de overshoot, erro em regime permanente, entre outros, de acordo com os requisitos do projeto.

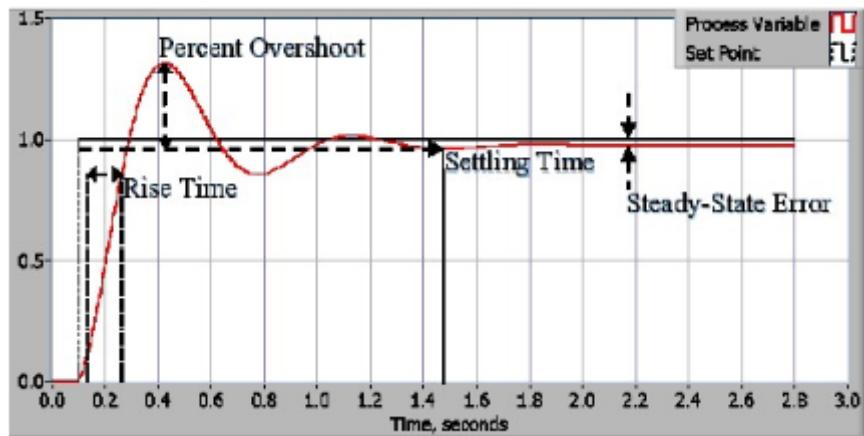


Figura 48 – Índices de desempenho de resposta ao degrau- Primeira Ordem - fonte: <https://www.ni.com/pt-pt/innovations/white-papers/06/pid-theory-explained.html>

Sendo que:

- **Tempo de acomodação (Settling Time):** É o tempo que o sistema levará para estabilizar na amplitude desejada. Que no nosso caso seria os 24°C;
- **Tempo de subida (Rise Time):** Este termo caracteriza a velocidade de resposta do sistema. É o tempo para o sistema obter seu maior ganho;
- **Overshoot (Percent Overshoot):** É a diferença entre o valor máximo e o valor final em porcentagem;
- **Erro (Steady-State Error) :** Diferença entre o valor de Setpoint (valor desejado) e a saída.

Cada controlador afeta esses parâmetros da seguinte forma:

Resposta	Subida	Overshot	Acomodação	Erro	Estabilidade
Proporcional (K_p)	Reduz	Aumenta	Pouco efeito	Reduz	Reduz
Integral (K_i)	Reduz	Aumenta	Aumenta	Elimina	Reduz
Derivativo (K_d)	Pouco efeito	Reduz	Reduz	Não altera	Aumenta

Tabela 4 – Efeitos na resposta de um sistema PID em malha fechada - fonte: Adaptado SARAIVA(2011)

Para achar essas constantes (K_p , K_i e K_d) e assim projetar um controlador PID, tem-se algumas alternativas, a primeira seria realizar um ajuste de tentativa e erro até que o processo apresente o desempenho esperado. Além deste existem métodos científicos

para esse ajuste, como por exemplo o Método da sensibilidade limite, Método de Ziegler Nichols (Curva de reação e Ganho crítico), Auto-Sintonia, etc.

O método de tentativa e erro é simples, mas é necessário que haja uma combinação adequada dos três parâmetros para seu funcionamento correto, já os métodos científicos geralmente possuem duas etapas: Identificar alguns parâmetros e em seguida aplicar fórmulas baseadas nesses parâmetros (SARAIVA,2011).

Depois de algumas tentativas, o melhor resultado foi obtido com a junção de dois métodos, o de tentativa e erro e o de Ziegler Nichols (Curva de reação). Ou seja, as constantes não seriam apenas números aleatórios, haveria uma combinação entre elas.

3.3.3.1 Método da Curva de Reação - ziegler nichols

Este método só pode ser aplicado se a resposta ao degrau da planta possuir um formato de “S”, como pode ser observado na Figura abaixo. A curva em “S” pode ser caracterizada pelo ganho estático K , pelo atraso L e a constante de tempo τ .

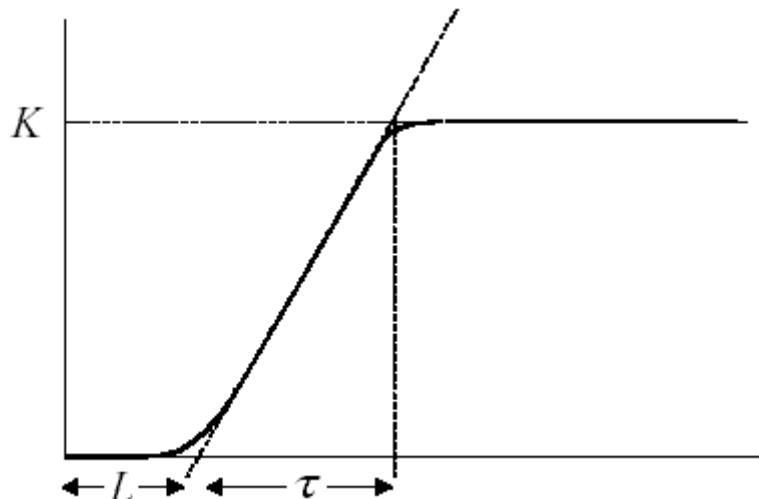


Figura 49 – Curva de Reação - fonte: autor

A função de transferência desse modelo pode ser aproximada a um sistema de primeira ordem com atraso. Abaixo é possível observar a tabela de ganhos para esse método.

	K_p	K_i	K_d
P	$\frac{\tau}{L}$	0	0
PI	$0.9\frac{\tau}{L}$	$0.3\frac{\tau}{L}$	0
PID	$1.2\frac{\tau}{L}$	$\frac{0.5}{L}$	$0.5L$

Tabela 5 – Tabela de ganhos - Método da Curva de Reação - fonte: JÚNIOR (2009)

3.3.4 Estrutura PID

O grupo utilizou somente a última linha da tabela acima para encontrar as constantes:

	Função de transferência	K_p	K_i	K_d
PID	$K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s$	$\frac{1.2\tau}{L}$	$\frac{0.5}{L}$	$0.5L$

Tabela 6 – Fórmula utilizadas para calcular as constantes - fonte: JÚNIOR (2009)

Utilizando as fórmulas da tabela 3, e os valores para os parâmetros K, τ e L explicitados na seção 3.1, têm-se:

$$K_p = 10.88 \quad (3.7)$$

$$K_i = 4.96 \times 10^{-4} \quad (3.8)$$

$$K_d = 504 \quad (3.9)$$

Para o controlador proporcional os termos K_i e K_d foram zerados, para o controle Proporcional integral foi zerado o termo K_d , para o Proporcional Derivativos o termo K_i foi zerado e para o PID utilizou-se todas as constantes.

$$FT_P = K_p \quad (3.10)$$

$$FT_{PI} = K_p + \frac{K_i}{s} \quad (3.11)$$

$$FT_{PD} = K_p + K_d S \quad (3.12)$$

$$FT_{PID} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d S \quad (3.13)$$

Os resultados da resposta em degrau para as funções de transferência obtidas com essas equações serão apresentados mais para frente neste mesmo trabalho.

3.3.4.1 Controle analógico

Obteve-se o seguinte valor para o P:

$$P = 10.8 \quad (3.14)$$

onde obteve uma resposta a um degrau unitário e lugar das raízes geométrica, simulado no OCTAVE:

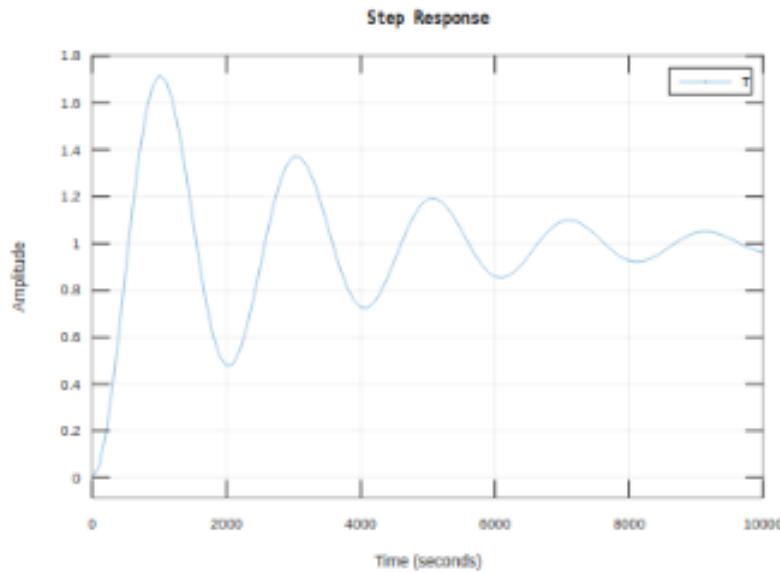


Figura 50 – Resposta P a um degrau unitário - fonte: autor

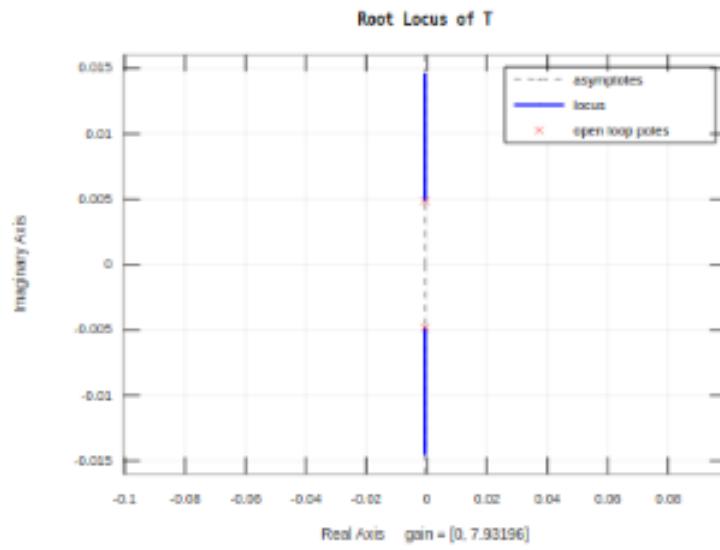


Figura 51 – Lugar geométricos das raízes de P - fonte: autor

Para o PI obteve-se a seguinte função de transferência:

$$FT_{PI} = \frac{10.88s + 4.96 \times 10^{-4}}{s} \quad (3.15)$$

onde obteve-se uma resposta a um degrau unitário e lugar das raízes geométrica, simulado no OCTAVE:

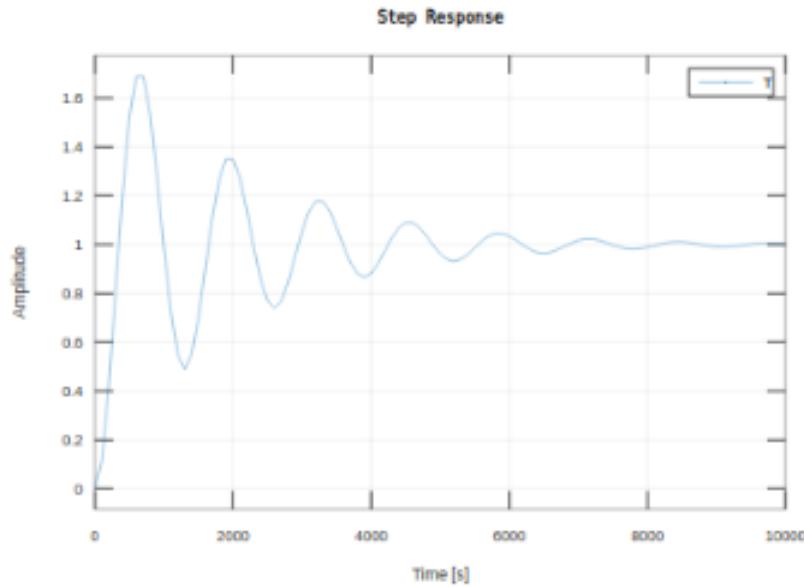


Figura 52 – Resposta PI a um degrau unitário - fonte: autor

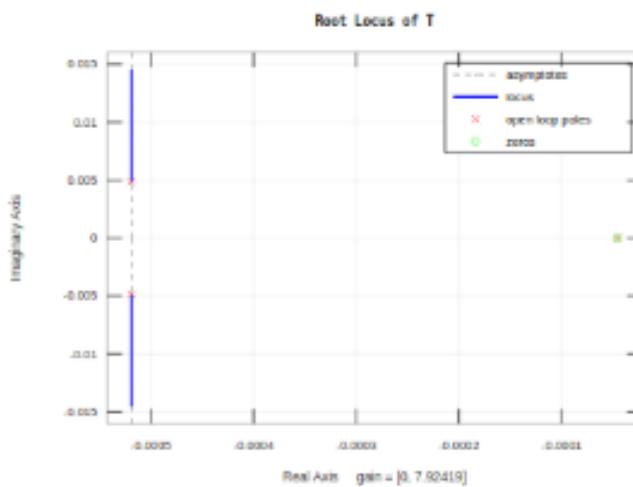


Figura 53 – Lugar geométricos das raízes de PI - fonte: autor

Para o PD obteve-se a seguinte função de transferência:

$$FT_{PD} = 504s + 10.88 \quad (3.16)$$

onde obteve-se uma resposta a um degrau unitário e lugar das raízes geométrica, simulado no OCTAVE:

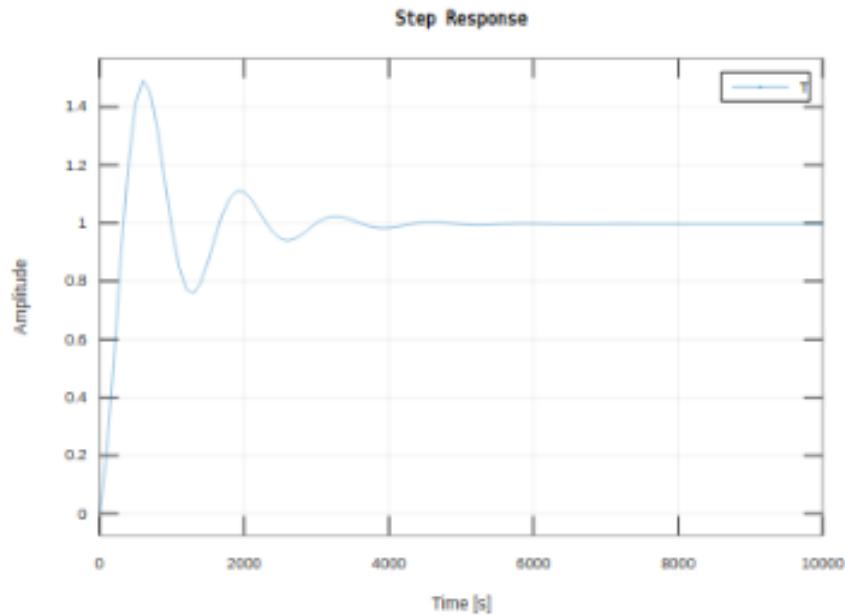


Figura 54 – Resposta PD a um degrau unitário - fonte: autor

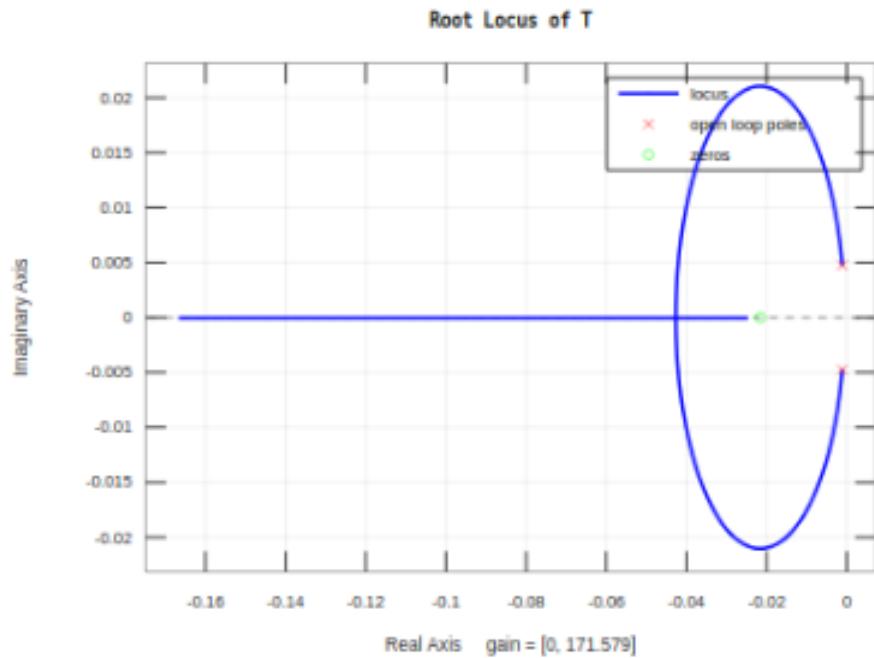


Figura 55 – Lugar geométricos das raízes de PD - fonte: autor

Para o PID obteve-se a seguinte função de transferência:

$$FT_{PID} = \frac{504s^2 + 10.88s + 4.96 \times 10^{-4}}{s} \quad (3.17)$$

onde obteve-se uma resposta a um degrau unitário e lugar das raízes geométrica, simulado no OCTAVE:

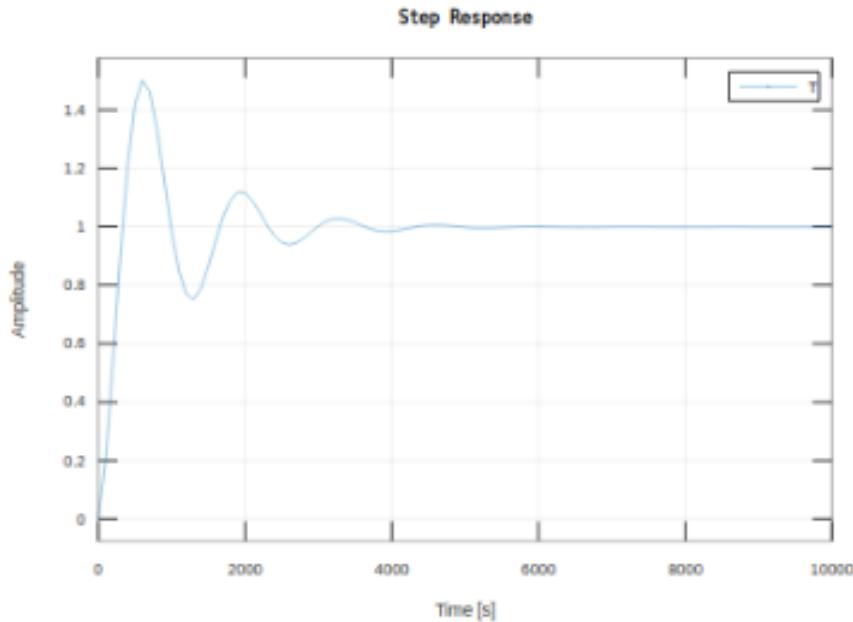


Figura 56 – Resposta PID a um degrau unitário - fonte: autor

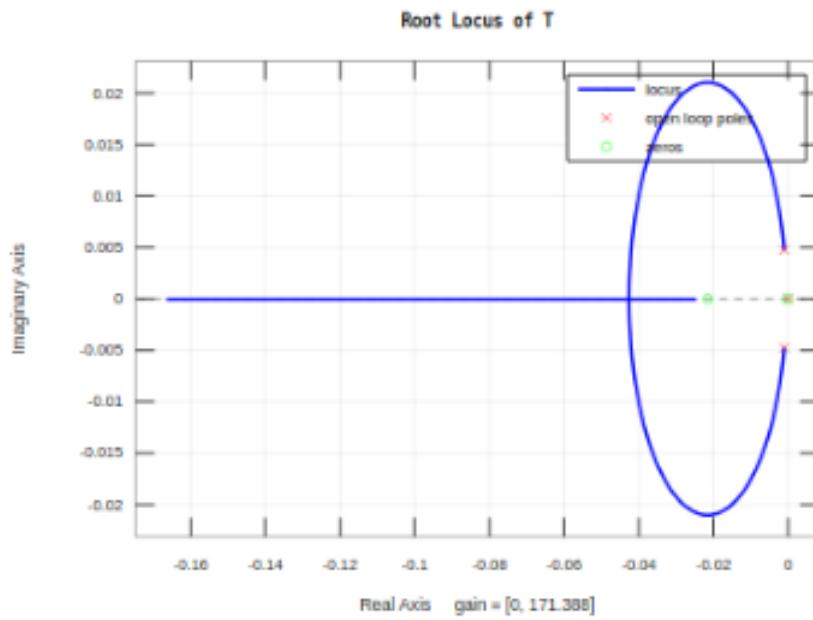


Figura 57 – Lugar geométricos das raízes de PID - fonte: autor

3.3.5 Ajuste das constantes

Desejando alterar o tempo de subida, tempo de acomodação, porcentagem de overshoot e o erro, de acordo com os requisitos do projeto, as constantes foram alteradas

conforme a tabela 4.

A constante K_p foi reduzida para aumentar o tempo de subida, diminuir a porcentagem de overshoot e aumentar a estabilidade, K_i foi aumentada para reduzir o tempo de subida e eliminar o erro, e a constante K_d também foi aumentada para reduzir a porcentagem de overshoot, o tempo de acomodação e aumentar a estabilidade.

Para o PID obteve-se a seguinte função de transferência:

$$FT_{PID} = \frac{1000s^2 + 2s + 0.001}{s} \quad (3.18)$$

onde obteve-se uma resposta a um degrau unitário e lugar das raízes geométrica, simulado no OCTAVE:

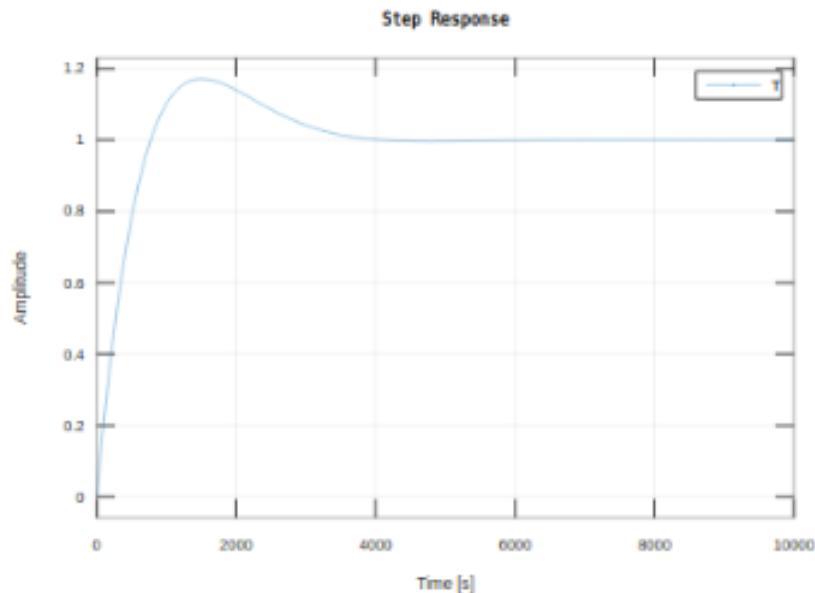


Figura 58 – Resposta PID da FT ajustada a um degrau unitário - fonte: autor

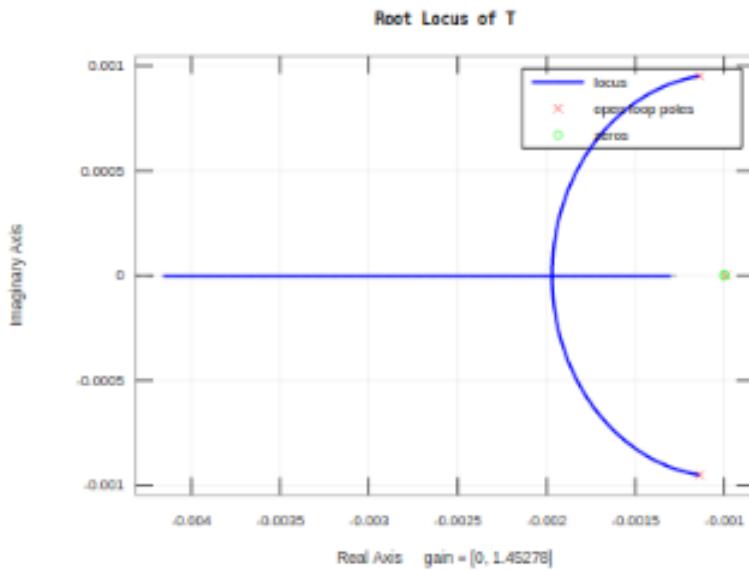


Figura 59 – Lugar geométricos das raízes de PID ajustado - fonte: autor

Na figura 58 é possível observar que obtivemos uma resposta desejável, ou seja, modificamos o tempo de acomodação, tempo de subida, porcentagem de overshoot, erro e estabilidade de acordo com os requisitos do projeto. É possível observar que o modelo se estabilizará em cerca de 1 hora (3600 segundos) que é o que queríamos para os 24 °C.

3.3.6 Circuitos de Zero-Crossing e Atuador

Para um melhor domínio do sistema de aquecimento do aquário é necessário o controle de potência e do ângulo da tensão da rede. Tal controle é representado pela limitação do fluxo de potência liberado a uma dada carga, variando-se o valor de tensão (AC) aplicada a ela, neste caso o aquecedor. Para isto, precisa-se desenvolver um circuito no qual consiga-se detectar a passagem da onda de tensão no cruzamento com o zero, o zero crossing. Esta detecção será realizada através de um optoacoplador, que enviará nível lógico alto toda vez que a onda cruzar o 0v. Assim, é possível identificar o início da onda e com um microcontrolador desenvolver uma operação de comando que limitará, em um período específico através de um TRIAC (Triode for Alternating Current), a potência no aquecedor.

3.3.6.1 Zero-Crossing

A primeira etapa para o controle de cargas por ângulo de fase é estabelecer o sincronismo entre a tensão de alimentação e o circuito de controle. O circuito utilizado para o zero crossing pode ser observado abaixo.

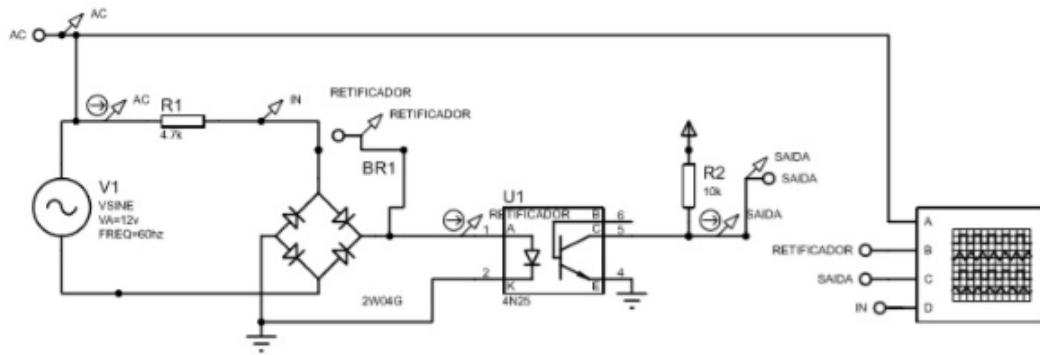


Figura 60 – Circuito de zero crossing - fonte: autor

Para o desenvolvimento deste circuito dispõem-se do optoacoplador 4N25, que conduz através de um led interno ao componente, sendo ele ativado pela ponte retificadora de meia onda. Sempre que a onda retificada dispor de valores positivos o led irá conduzir e o transistor entrará em zona de saturação operando como curto circuito, isso faz com que o microcontrolador leia o valor de ground, ou seja, nível lógico baixo. Já para valores em 0V, o led não irá conduzir e o transistor ficará em corte, assim o microcontrolador receberá a tensão no resistor de pull up 5v, nível lógico alto.

Uma característica importante deste circuito é que utilizando do optoacoplador é possível dividir o circuito de alta tensão (AC) e o de baixa tensão, proporcionada pelo microcontrolador. Isto minimiza a possibilidade de danificar alguns componentes e de possíveis acidentes.

Esse circuito (Fig.60), foi montado e testado em laboratório, e obteve-se um resultado satisfatório (Fig.61), em que a passagem por zero é detectada pelo microcontrolador.

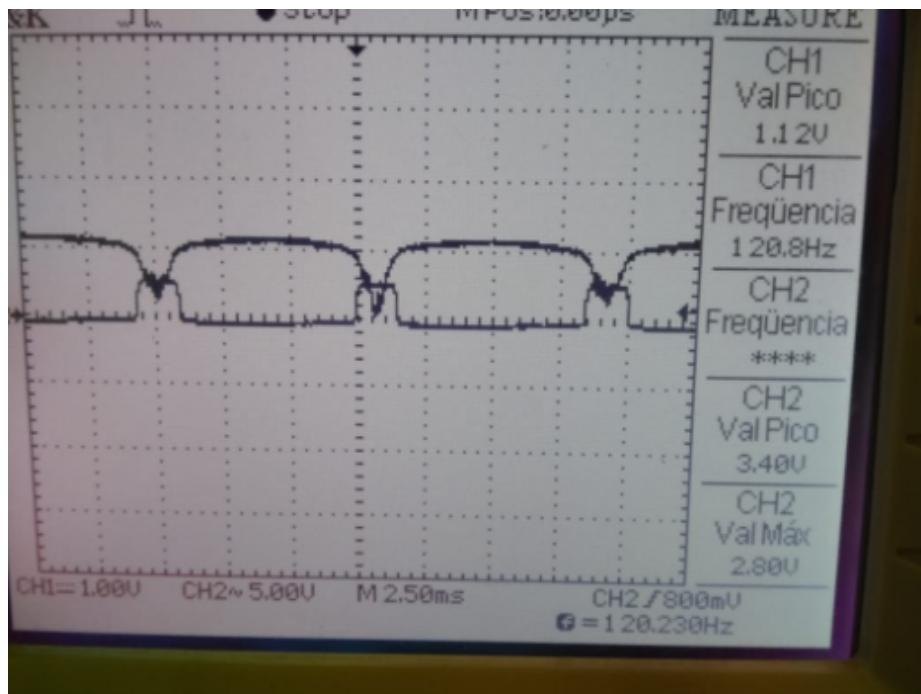


Figura 61 – Teste laboratorial para o circuito zero-crossing. CH1 é a onda retificada de entrada e CH2 a saída do circuito zero-crossing, que representa o pulso enviado ao microcontrolador .Ao passar pelo ponto zero, o pulso é detectado pela MSP430 - fonte: autor

3.3.6.2 Acionador triac

A segunda etapa consiste em um circuito acoplador óptico, que possui como principal função isolar o circuito de alta tensão do circuito de baixa tensão, evitando danos aos aparelhos e componentes utilizados.

Na simulação desta etapa foi usado como entrada PWM simulando a saída do microcontrolador um gerador de pulsos com ângulos de acionamento variados. Foi utilizado também como teste uma lâmpada no lugar da carga real (aquecedor) com resistência de aproximadamente 200 Ohms.

Esse circuito abaixo consiste na utilização de um optoacoplador MOC3022 para realizar esse isolamento entre os circuitos e um TRIAC TIC-116 para realizar o controle de potência que é entregue para a carga de acordo com os pulsos PWM enviados pelo MSP-EXP430G2.

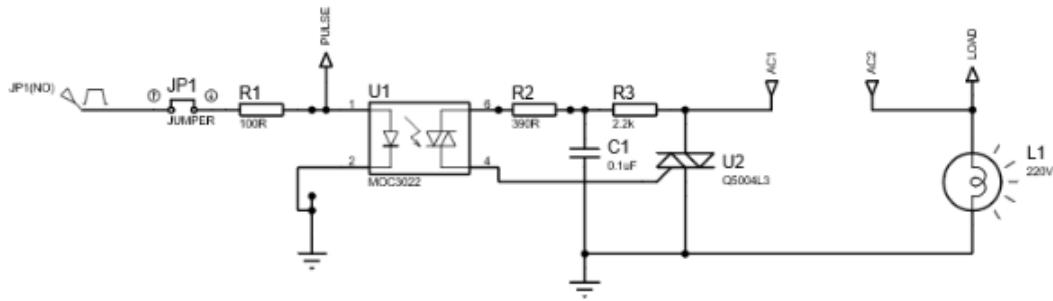


Figura 62 – Circuito de isolamento e de acionamento de carga - fonte: autor

O circuito da Figura H foi montado e testado em laboratório e também obteve-se um resultado satisfatório, como é possível observar na Figura abaixo.

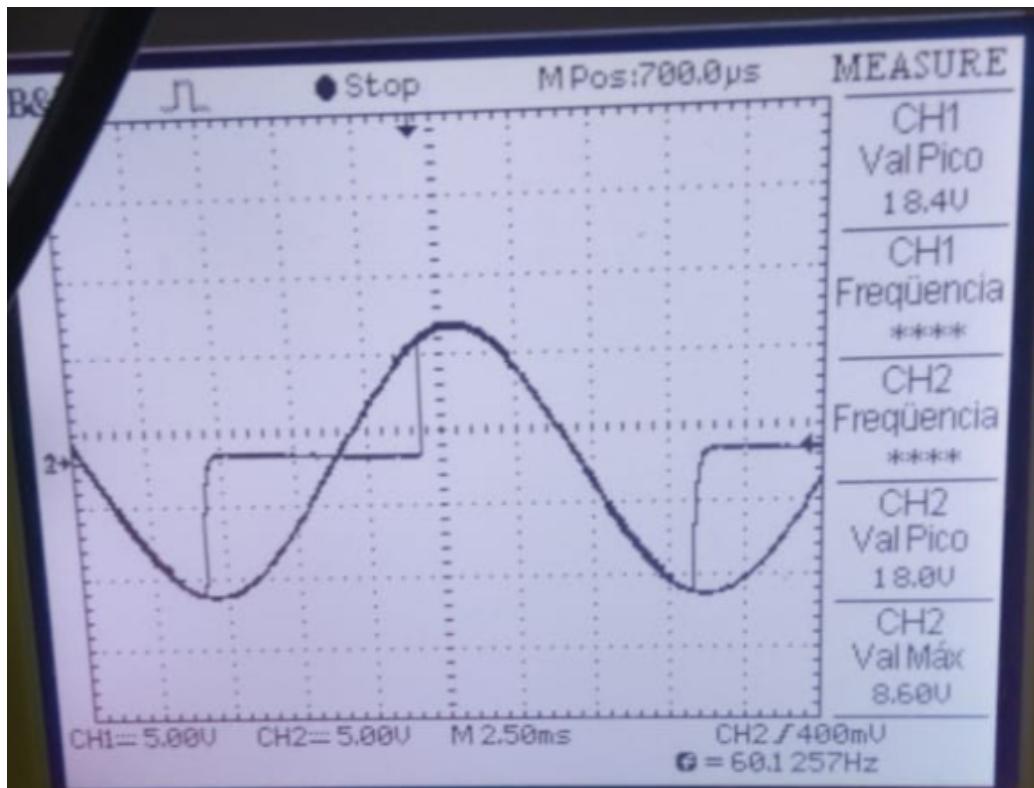


Figura 63 – Teste laboratorial para o circuito atuador. O CH1 é a entrada da fonte, o CH2 é a tensão na carga, regulada pelo microcontrolador. É possível ver cerca de 75% de redução na tensão eficaz na carga, como esperado - fonte: autor

3.3.7 Placa de circuito impresso

Depois dos circuitos serem testados e estarem funcionando, o grupo iniciou o procedimento de confecção das PCI. O layout das placas foram feitas no software EasyEDA.

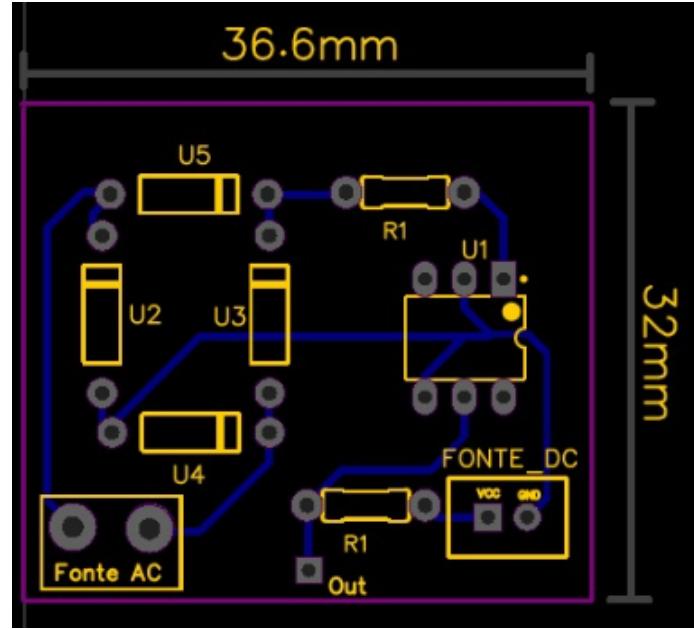


Figura 64 – Layout para o circuito zero-crossing - fonte: autor

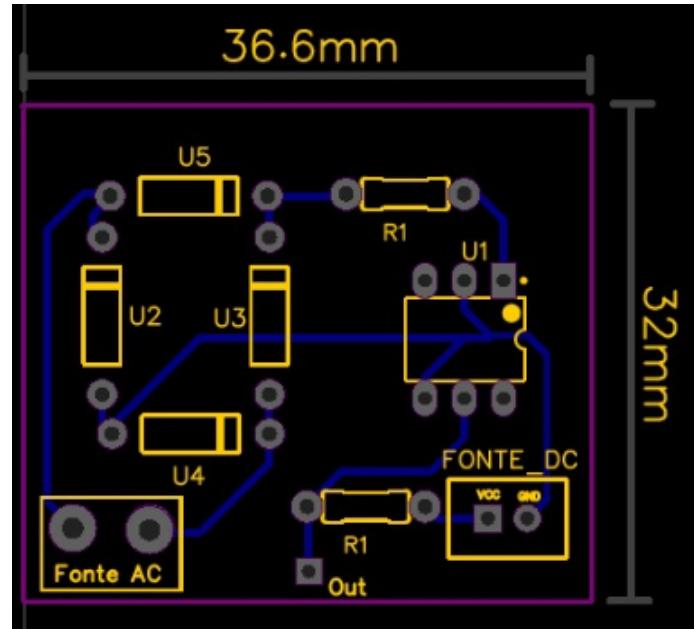


Figura 65 – Layout para o circuito atuador - fonte: autor

3.3.8 Rede de petri

Para compreender um sistema como um todo, em função de seus estados e transições, a rede de Petri visa ilustrar o comportamento desse. A rede de Petri do Aquatop se inicia com o estado denominado de “início”, que realiza o bot do sistema, acionando a Raspberry que em seguida identifica os aquários presentes através da MSP430. Sob o comando da Raspberry, há tarefas cujo funcionamento será intermitente, dessa forma,

imediatamente, a hora será observada para verificar em qual momento a alimentação do peixe deverá ser realizada e a bomba de filtragem que acionará o estado de filtragem do aquário. Em seguida, no controle da MSP430, há os comportamentos das ramificações da rede cujos estados dependem de decisões tomadas a partir dos parâmetros aferidos pelos sensores que visam otimizar o desempenho do aquário.

A primeira ramificação visa demonstrar o comportamento em relação aos estados correspondentes à aquisição do sinal de pH, a partir do qual recomendações serão dadas ao usuário, através do aplicativo, de forma que esse será informado sobre as atuais condições. Além disso, caso seja detectada alguma irregularidade, uma ação a ser tomada para regular o pH será informada ao usuário.

A segunda ramificação corresponde ao volume total de água, dado adquirido através da obtenção do dado de coluna de água advindo do sensor ultrassônico. A decisão a ser tomada é dada no momento em que a água se encontra em um volume maior do que o regular. Dessa forma, uma bomba de descarte será acionada de modo que o volume se normalizará.

A terceira ramificação ilustra o funcionamento da iluminação que em determinado horário será desligada e ligada. Além disso, observa-se que há um dado oriundo do sensor LDR quanto à iluminância do ambiente, dado esse que otimizará a iluminação, aumentando o brilho da fita de LED, utilizando um PWM, caso a iluminância esteja baixa, e, reciprocamente caso a iluminância do ambiente seja baixa. Esses dados serão inseridos no sistema através da configuração realizada pelo usuário no aplicativo.

A última ramificação diz respeito à atuação do sistema de aquecimento do aquário otimizado por PID (Controlador proporcional integral derivativo). O dado de temperatura será obtido através de um sensor de temperatura que será avaliado e enviado ao controlador PID para que o aquecimento seja otimizado de tal forma que sua eficiência seja aperfeiçoada em função do tempo de atuação para alcançar uma determinada temperatura e em questão da potência consumida durante o processo. Os dados da temperatura atual e da temperatura desejada.

Assim, os dados que deverão ser informados ao usuário serão enviados, através do MSP430, para a Raspberry que enviará para o aplicativo através do WebSocket. Dessa forma, dá-se o comportamento do Aquatop em função de variados estados atingidos em função das variáveis disponíveis advindos de sensores e do horário.

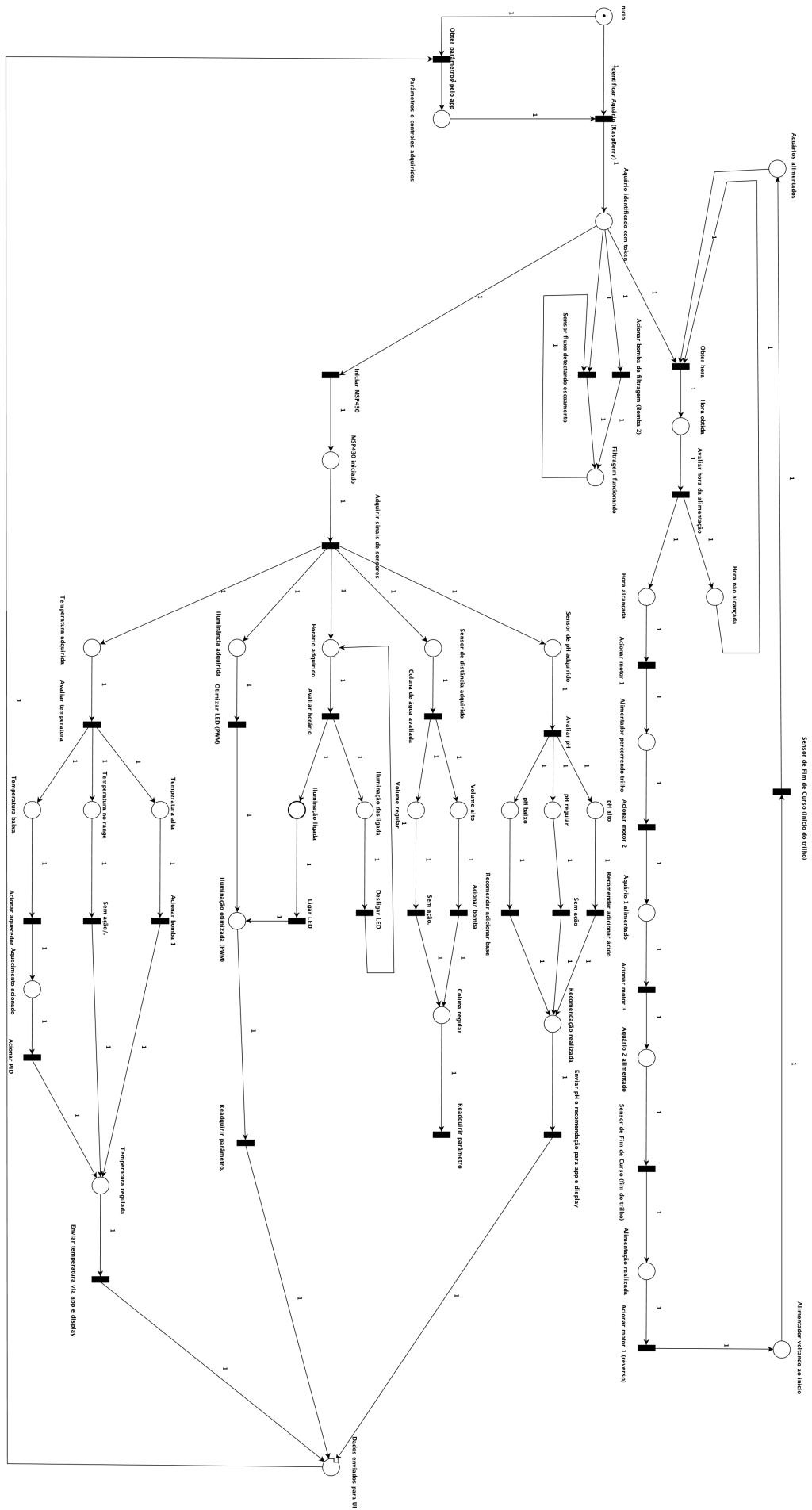


Figura 66 – Rede de petri - fonte: autor

3.3.9 Plano de integração

Para compreender o comportamento geral do sistema em sub-blocos, um diagrama de integração evidencia as conexões, como, por exemplo: dados, alimentação, protocolos de comunicação e sinais lógicos.

Dessa forma, a atuação do Aquatop, a partir da alimentação, inicia-se com as conexões com as fontes elétricas, sendo três utilizadas: uma de 5VDC, uma de 12VDC e outra de 220VAC. Essas fontes irão alimentar os atuadores e relés, assim como os microcontroladores, que, em seguida, alimentarão os sensores. Além disso, o sistema conta com um Nobreak para que no caso de haver uma queda de energia, a filtragem da água permaneça intacta para garantir a saúde dos peixes.

O sistema possui limites de parâmetros para manter o bom funcionamento do aquário, para enfim garantir a sobrevivência dos peixes dentro de uma zona de conforto. Para esse monitoramento, utiliza-se sensores de: nível, que é um sensor ultrassônico, para verificar se o volume de água no aquário permanece em uma quantidade adequada, um de pH, para verificar se o pH da água se encontra em um intervalo aceitável, para que, caso haja alguma alteração indevida, recomendar ações ao usuário para que o pH se restabeleça, um LDR para otimizar a iluminação feita sob a água, compensando a iluminação externa, e um sensor de temperatura para garantir esse parâmetro dentro de um intervalo, utilizando um controlador proporcional integral derivativo que é um controle mais rápido que um controle on-off, além de contar com uma economia de potência utilizada. Para mais, há dois sensores de fim de curso cuja função é detectar o início e o fim do trilho de alimentação dos peixes e um sensor de fluxo em cada aquário cuja função é garantir o funcionamento do fluxo de água da filtragem, como uma redundância de erros no envio de comandos de válvulas e bombas.

Esses sensores serão conectados a um MSP430G2553 para que esse sub-sistema seja modulado de forma que possa ser replicado, apenas a conectando a uma Raspberry. Os sinais obtidos serão digitais e analógicos, processados na MSP430 e os comandos gerados a partir da aferição controlarão atuadores como válvulas, responsáveis pelo deslocamento da água e aquecedor, junto com o PID.

A conexão entre a MSP430 e a Raspberry é necessária para que haja a comunicação entre os dados e comandos entre o aquário e o aplicativo. O protocolo de comunicação utilizado na conexão foi o I2C. Além da comunicação realizada pela Raspberry, esta é responsável pelo controle dos motores que acionarão a alimentação dos aquários, pelos sensores de fim de curso e pela iluminação do aquário.

Finalmente, a conexão entre a Raspberry e o aplicativo apresenta os parâmetros aferidos pelos sensores, além de poder configurar o comportamento da iluminação e da alimentação dos peixes. Essa comunicação é realizada através do WebSocket para o Web-

Socket Server. Esse realizará a comunicação dos parâmetros e dos acionamentos com os microserviços que são especificados para cada tarefa realizada pelo aplicativo, através de Kafka TCP Protocol e do JSON.

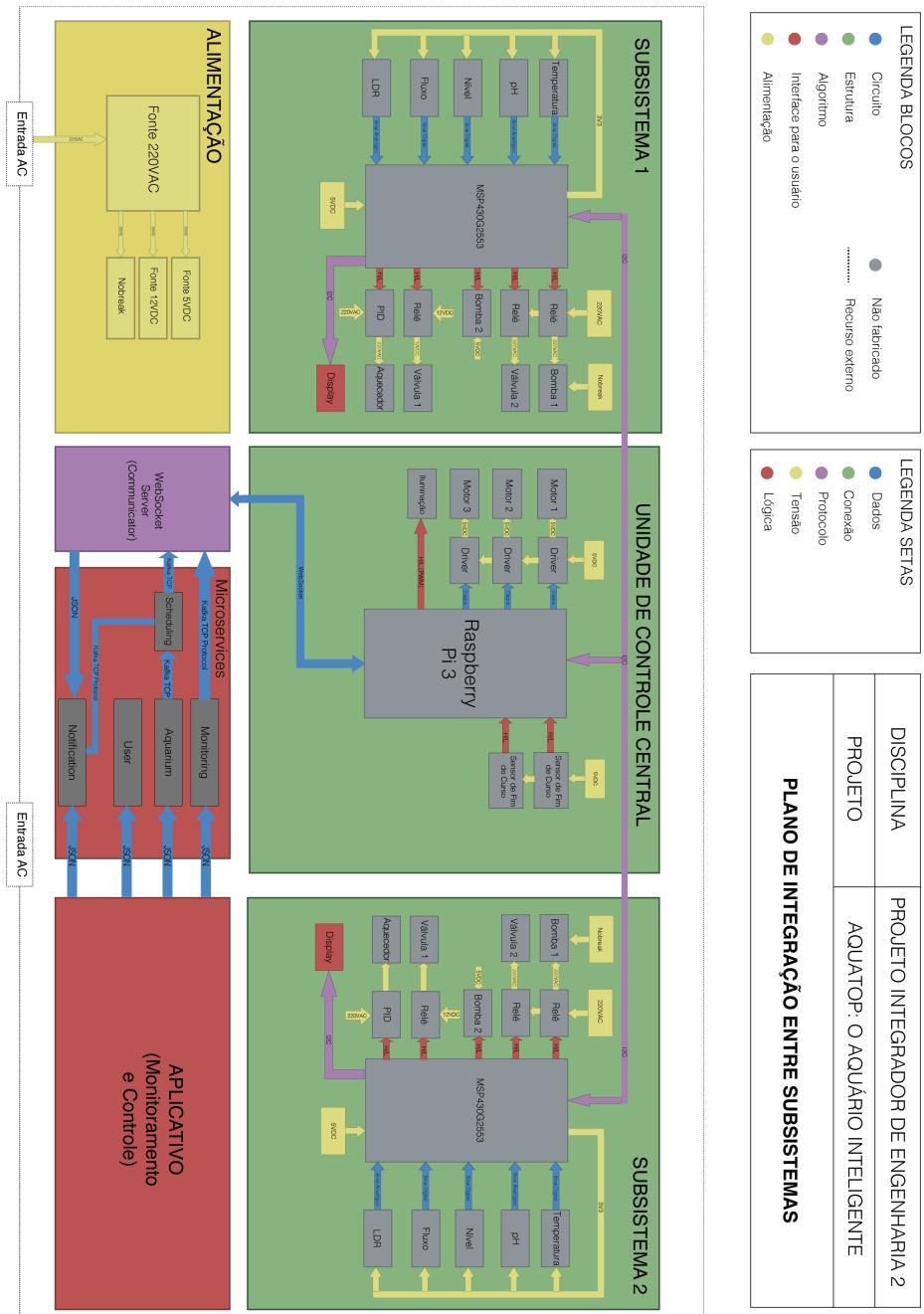


Figura 67 – Diagrama de integração - fonte: autor

4 Software

A aplicação Aquatop tem como objetivo realizar o monitoramentos dos aquários, bem como o agendamento de algumas tarefas dos mesmos. Para isso, se utilizará de cinco microsserviços elaborados em NodeJS, um servidor de WebSocket, também elaborado em NodeJS e um front-end desenvolvido utilizando React Native. Cada um desses será desctrinchado nos tópicos a seguir, tratando do seu funcionamento com alguns exemplo e das tecnologias empregadas.

4.1 Aplicativo

O front-end da aplicação é desenvolvido em React Native, que é um projeto desenvolvido pelos engenheiros do Facebook e consiste em uma série de ferramentas que viabilizam a criação de aplicações móveis nativas para a plataforma iOS e Android, utilizando o que há de mais moderno no desenvolvimento Front-end e, por esse motivo, foi decidido sua utilização para a criação da aplicação.

No aplicativo, o usuário pode fazer o controle de seus aquários, monitorando informações de temperatura, pH e nível da água, bem como definir períodos para a alimentação dos peixes e o horário de acionamento e desligamento das luzes do aquário.

Cada aquário possui um PIN que será apresentado no display do aquário quando o cadastro do mesmo e deve ser inserido no aplicativo ao iniciar o cadastramento do aquário. As imagens abaixo apresentam a tela inicial do aplicativo em desenvolvimento:



Figura 68 – Tela aplicativo - fonte: autor

O código do aplicativo pode ser encontrado no seguinte repositório do GitHub: <<https://github.com/Aquatop/Aquatop.app>>.

4.2 Microsserviço de usuário(User)

Esse microsserviço, assim como os outros do sistema foram desenvolvidos em NodeJS. É um interpretador JavaScript, desenvolvido em 2009 por Ryan Dahl, com código aberto e orientado a eventos. Foi escolhido devido a sua flexibilidade, leveza e produtividade.

O objetivo desse microsserviço é realizar o controle dos usuários que acessam a aplicação. Através da conexão com a aplicação, novos perfis de usuário são criados ao realizar um cadastro no aplicativo, as credenciais são checadas quando uma tentativa de login é realizada e os dados do usuário podem ser alterados quando uma edição de perfil é efetuada.

Os dados são armazenados em um banco de dados que utiliza a tecnologia MongoDB que é um banco de dados de código aberto, gratuito, de alta performance, sem esquemas e orientado à documentos, lançado em fevereiro de 2009 pela empresa 10gen. Nesse banco estão armazenadas as informações de nome, e-mail e senha do usuário para

serem acessadas quando necessárias.

O código do microsserviço pode ser encontrado no seguinte repositório do GitHub: [<https://github.com/Aquatop/Aquatop.User.microservice>](https://github.com/Aquatop/Aquatop.User.microservice).

4.3 Microsserviço de aquário(Aquarium)

Este microsserviço, também desenvolvido em NodeJS, tem como objetivo controlar o cadastramento dos aquários, a edição de dados dos mesmos, a listagem desses aquários e a geração dos PINs.

Os dados do aquário ficam armazenados no banco de dados, também desenvolvido em MongoDB, e aguardam até o momento que de serem utilizados. Esses dados são:

- Name: Identificador único do aquário;
- FictionalName: Nome escolhido pelo usuário e que será apresentado para o mesmo;
- Fish: Espécie de peixe presente no aquário;
- FishQuantity: Quantidade de peixes no aquário;
- FoodQuantity: Quantidade de comida por alimentação;
- FoodInterval: Intervalo de tempo entre as alimentações;
- TurnOnLight: Horário de acionamento das luzes do aquário;
- TurnOffLight: Horário de desligamento das luzes do aquário;
- PIN: Identificador para conexão entre o aquário correto e à aplicações;
- Owner: Usuário dono do aquário em questão.

O código do microsserviço pode ser encontrado no seguinte repositório do GitHub: [<https://github.com/Aquatop/Aquatop.Aquarium.microservice>](https://github.com/Aquatop/Aquatop.Aquarium.microservice).

4.4 Microsserviço de Monitoramento(Monitoring)

Desenvolvido em NodeJS, esse microsserviço se conecta com o servidor de WebSocket para receber informações deste que está conectado a Raspberry. Essas informações são as aferições feitas pelos sensores no aquário e apresentam três dados: Temperatura, pH e nível da água.

Esses dados são utilizados quando o aplicativo os solicita para serem apresentados ao usuário.

O código do microsserviço pode ser encontrado no seguinte repositório do GitHub: <<https://github.com/Aquatop/Aquatop.Monitoring.microservice>>.

4.5 Microsserviço de Notificação(Notification)

Microsserviço que será desenvolvido em NodeJS. Ainda se encontra em desenvolvimento e é responsável por gerenciar as notificações que vão ser enviadas para o usuário, sejam eles relacionados aos eventos ocorridos no aquário, sejam apenas lembretes para melhorar o gerenciamento desses aquários.

O código do microsserviço pode ser encontrado no seguinte repositório do GitHub: <<https://github.com/Aquatop/Aquatop.Notification.microservice>>.

4.6 Worker de Agendamento(Scheduling)

Um worker é uma ferramenta que permanece rodando em background permanentemente. Esse worker será desenvolvido em NodeJS e utilizará a Agenda, uma biblioteca leve que tem foco no agendamento de tarefas. Foi escolhida devido aos seguintes fatores:

- Afinidade da equipe com a linguagem;
- É assíncrona;
- Tem como objetivo manter sua base de códigos pequena.

O worker ainda está em desenvolvimento e tem como objetivo organizar o agendamento das tarefas a serem realizadas pelo aquário à partir do momento que essas são cadastradas pelo usuário.

As tarefas são agendadas da seguinte forma:

```
verifyFilter.schedule('today at 8:10am').repeatEvery('30 days');
verifyFood.schedule('today at 8:20am').repeatEvery('7 days');
swapWater.schedule('today at 8:30am').repeatEvery('15 days');
turnOnLights.schedule(body.turnOnLights).repeatEvery('day');
turnOffLights.schedule(body.turnOffLights).repeatEvery('day');
```

Figura 69 – Agendamento de tarefas - fonte: autor

O código do worker pode ser encontrado no seguinte repositório do GitHub:<<https://github.com/Aquatop/Aquatop.Scheduling.worker>>.

4.7 Servidor de WebSocket

O servidor de WebSocket é desenvolvido em NodeJS e tem como objetivo realizar a comunicação entre os microsserviços e a Raspberry, ou seja, funciona como uma interface de comunicação com os aquários.

Optou-se pela utilização do mesmo pois se fez necessária uma comunicação bidirecional entre cliente e servidor, preferencialmente trocando informações em tempo real e que forneça informações de quantos e quem são os clientes conectados ao servidor.

O código do servidor de WebSocket pode ser encontrado no seguinte repositório do GitHub: <<https://github.com/Aquatop/Aquatop.WebSocket.server>>.

4.8 Cliente de WebSocket

O cliente de WebSocket está sendo desenvolvido em Python 3 e tem como objetivo realizar a comunicação entre a Raspberry e o back-end, ou seja, funciona como interface de comunicação com o servidor de WebSocket.

Optou-se pela utilização da linguagem de programação Python pois ela já vem nativamente disponível na Raspberry eliminando assim a necessidade da preparação de um ambiente e instalação de um interpretador ou compilador, que poderia impactar negativamente no desempenho da Raspberry.

O código do cliente de WebSocket pode ser encontrado no seguinte repositório do GitHub:<<https://github.com/Aquatop/Aquatop.WebSocket.client>>.

4.9 KAFKA

O Apache Kafka pode ser definido, de forma resumida, como uma plataforma distribuída de mensagens e streaming. Inicialmente, ele era um sistema interno desenvolvido pela LinkedIn para processar 1,4 trilhão de mensagens por dia. Mas atualmente é uma solução de transmissão de dados open source aplicável a variadas necessidades corporativas. Por esse motivo ele será utilizado no projeto. Ele será utilizada dentro do projeto para comunicação interna entre microsserviços. Para explicar de forma mais clara o uso do kafka no projeto é preciso descrever 4 termos, que são:

- Message: é o principal recurso do Kafka. Todos os eventos do Kafka podem ser resumidos em mensagens, sendo consumidas e produzidas através de tópicos. Uma mensagem pode ser desde uma simples String com “Hello World!” ou até mesmo um JSON contendo um objeto do seu domínio. O Kafka permite definir Schemas para mensagens, como num exemplo de um JSON contendo um objeto do seu domínio,

o Schema pode auxiliar impedindo que mensagens contendo conteúdos inválidos sejam trafegadas no tópico. Uma mensagem pode também ser composta por uma chave (key/value), que é utilizada para sharding e compactação dentro do Kafka. Assim em um ambiente distribuído, é garantido a ordem das mensagens uma vez que mensagens com a mesma chaves são direcionadas para uma única partição do Kafka;

- Topic: é como são categorizados grupos de mensagens dentro do Kafka. Todas as mensagens enviadas para o Kafka permanecem em um tópico, mensagens são imutáveis e ordenadas. Para manter a ordenação em um ecossistema de Kafka, os tópicos possuem partições e fatores de replicação. Um tópico pode possuir n partições, mas ao receber uma nova mensagem o Kafka automaticamente direciona aquela mensagem para uma partição específica dependendo de sua chave (key). Assim mensagens de uma mesma chave estarão apenas em uma única partição, garantindo assim a leitura ordenada de todas as mensagens de um tópico;
- Producer: é responsável por enviar uma mensagem para um tópico específico. De forma simples, você pode produzir uma mensagem em um tópico. Uma vez que uma mensagem é produzida em um tópico o próprio Kafka organiza a mensagem em uma partição, garantindo sempre a ordem das mensagens produzidas, como citado anteriormente;
- Consumer: tendo-se os tópicos, e as mensagens dentro dos tópicos, o consumer então é responsável por ler mensagens de volta. Importante entender que, ao ler uma mensagem com o consumer, a mensagem não é retirada do tópico;

Realizadas as devidas explicações, os microsserviços serão producers e consumers de mensagens em tópicos do servidor kafka, de acordo com a necessidade de comunicação de cada um.

4.10 NGINX

O NGINX é um servidor leve de HTTP, proxy reverso, proxy de e-mail IMAP/POP3, feito por Igor Sysoev em 2005. Ele será utilizado dentro do projeto estritamente para simular uma gateway a frente das nossas API's através de seus recursos de proxy reverso. Uma das funções que uma gateway pode assumir em uma arquitetura de microsserviços é prover um ponto de acesso único aos mesmos, centralizando a comunicação com o front-end ou com fontes externas. Novamente gostaríamos de ressaltar que utilizaremos os conceitos de gateway apenas para centralizar o acesso aos nosso serviços, deixando de fora questões como load balance, caching e afins.

4.11 Plano de integração

A integração com à equipe de eletrônica será feita a partir à conexão entre o Servidor de WebSocket e seu cliente(Raspberry) e busca atender quatro pontos principais: Agendamento de tarefas, PIN dos aquários, monitoramento do aquário e notificações, O diagrama abaixo explicita como isso deve ser abordado na reta final do projeto:

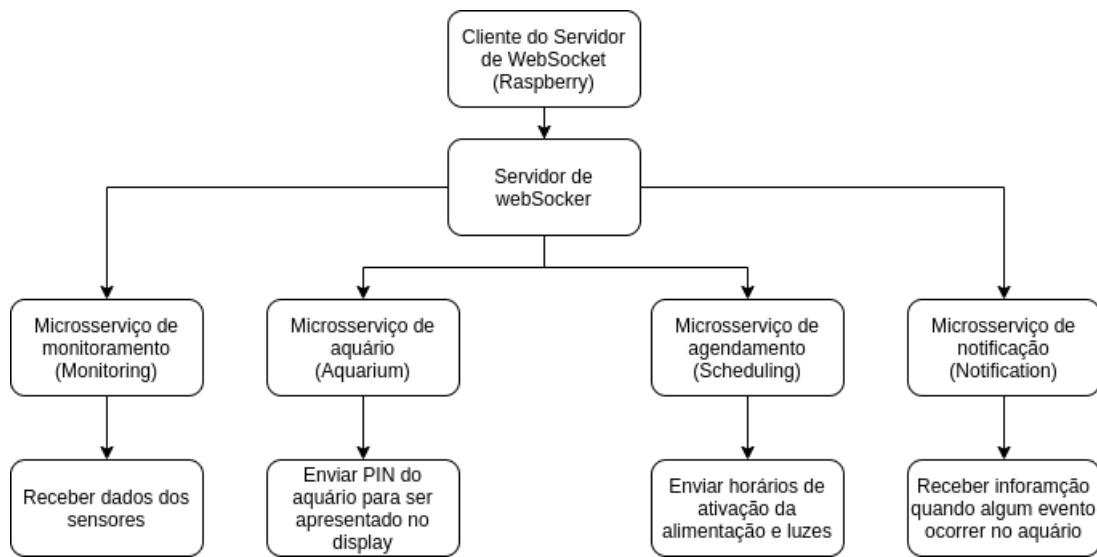


Figura 70 – Diagrama de integração software com eletrônica - fonte: autor

5 Referências Bibliográficas

- SEARS, F. W.; ZEMANSKY, M. W. Física: calor, ondas e óptica. v. 2. Rio de Janeiro, 1977.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Mortandade de peixes: temperatura da água. São Paulo, 2019. Disponível em:<<https://cetesb.sp.gov.br/>> mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/temperatura-da-agua/. Acesso em: 2 out. 2019.
- Raspberry Pi I2C/SPI/UART communications. MBTechworks , 2018. Disponível em: <<https://www.mbttechworks.com/hardware/raspberry-pi-UART-SPI-I2C.html>>. Acesso em 18 de setembro de 2019.
- <<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20-PAR.pdf>>.
- Steidle Neto, Antonio José. Avaliação do sistema 1-Wire para aquisição de dados de temperatura em instalações agrícolas. Viçosa: UFV, 2003. <<http://arquivo.ufv.br/dea/\ambiagro/arquivos/Tese%20de%20Antonio%20Steidle2003.pdf>>.
- Proposta de um Sistema de Monitoramento em Tempo Real, para Estudos de Determinação de Economia de Energia, em Aquecimento Solar de Água - Londrina, 2018 - 81 p. <http://www.uel.br/ctu/deel/TCC/TCC2017_FilipeTravizaniRicato.pdf>.
- <<https://www.e-gizmo.net/oc/kits%20documents/PH%20Sensor%20E-201-C/PH%20Sensor%20E-201-C.pdf>>.
- BOTSHOP. How to use a ph probe and sensor, 2017. Blog Post. Disponível em: <<https://www.botshop.co.za/how-to-use-a-ph-probe-and-sensor/>>. Acesso em 19 de Setembro de 2019>.
- BINABHATT. EMBEDDED SYSTEM, 2017. Disponível em:<<https://binabhatt.wordpress.com/2017/11/08/msp430g2553-with-a-light-dependent-resistor/>> Acessado em 23 de setembro de 2019.
- JOJO .CIRCUITS TODAY, 2018. Disponível em: <<http://www.circuitstoday.com/ldr-light-dependent-resistors>>. Acessado em 23 de setembro de 2019.
- BAKKER, Benne de. How to use a HC-SR04 Ultrasonic Distance Sensor with Arduino, 2015. Disponível em: <<https://www.makerguides.com/hc-sr04-arduino-tutorial/>>. Acesso em 18 de setembro de 2019.

- <<https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf>>.
- <http://www2.dee.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/18/2017/11/TCC_2017_1_GDSilva.pdf>.
- SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. O controle PDI de forma simples e descomplicada. Citisystems, 2017. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/controle-pid/>>. Acesso em 28 de setembro de 2019.
- NATIONAL INSTRUMENTS. Explicando a teoria PID, 2019. Disponível em: <<https://www.ni.com/pt-br/innovations/white-papers/06/pid-theory-explained.html>>. Acesso em 28 de setembro de 2019.
- LAGE, Matheus Sales. Implantação de sistema de controle de temperatura da água utilizando trocador de calor aplicado em uma planta industrial. Universidade Federal de Ouro Preto, MG, 2018.
- JÚNIOR, Guilherme Magalhães. Estudo Analítico de controladores PID e PID supervisório Fuzzy em sistemas não-lineares. Universidade Federal de Ouro Preto, MG, 2009.
- SARAIVA, Felipe de Andrade. Métodos de Sintonia em Controladores PID. Canoas, 2011.
- AVELAR, Eduardo. Arduino lab 11 - Controle de ângulo de fase para uma carga indutiva e resistiva. Easy trom labs.
- Datasheet <[4N25.https://www.vishay.com/docs/83725/4n25.pdf](https://www.vishay.com/docs/83725/4n25.pdf)>.
- Datasheet MOC3022
- <<https://circuitdigest.com/tutorial/triac-switching-circuit-and-applications>>.

6 Apêndice

6.1 Estrutura

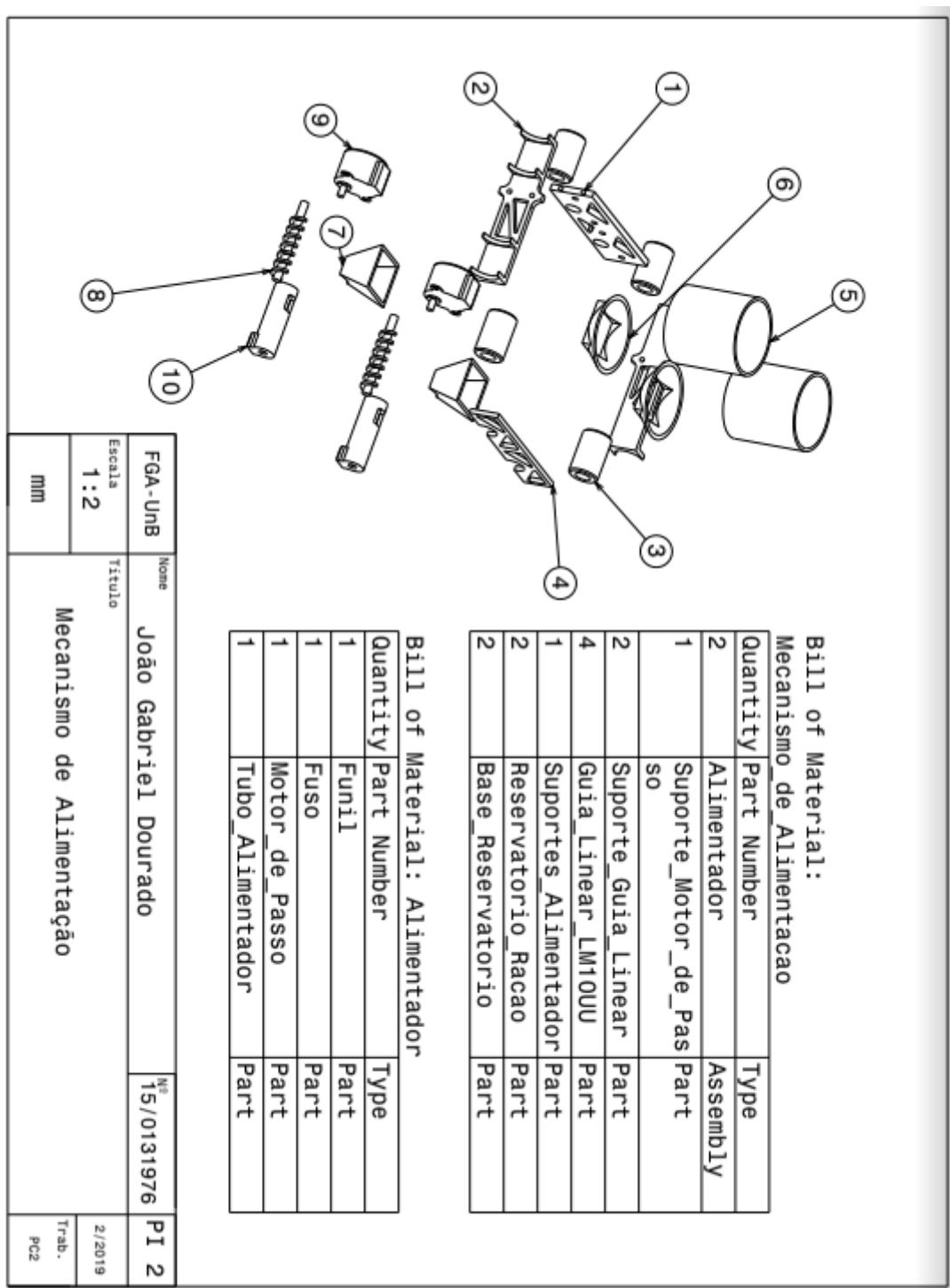


Figura 71 – Vista explodida mecanismo de alimentação - fonte: autor

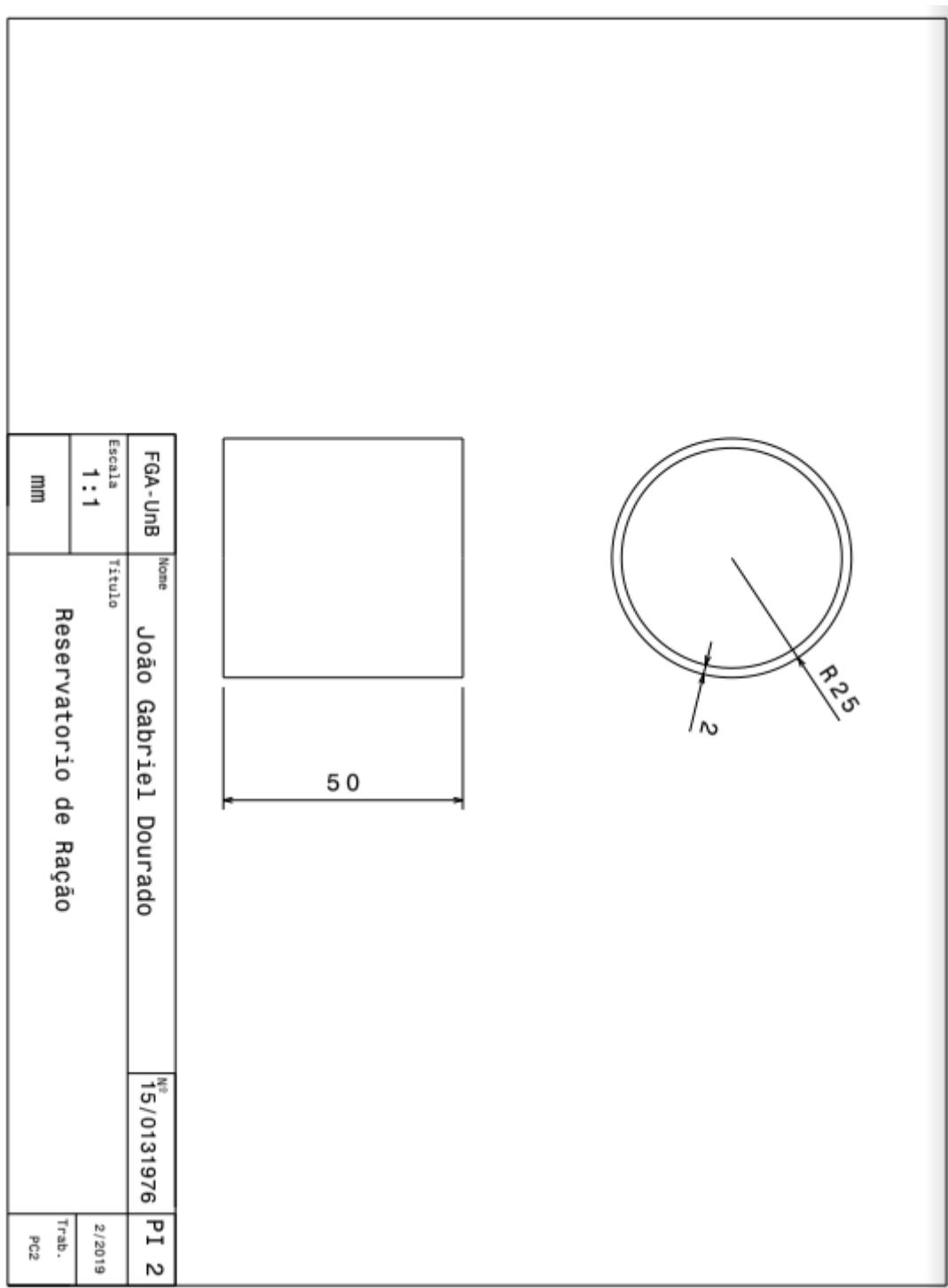


Figura 72 – Reservatório - fonte: autor

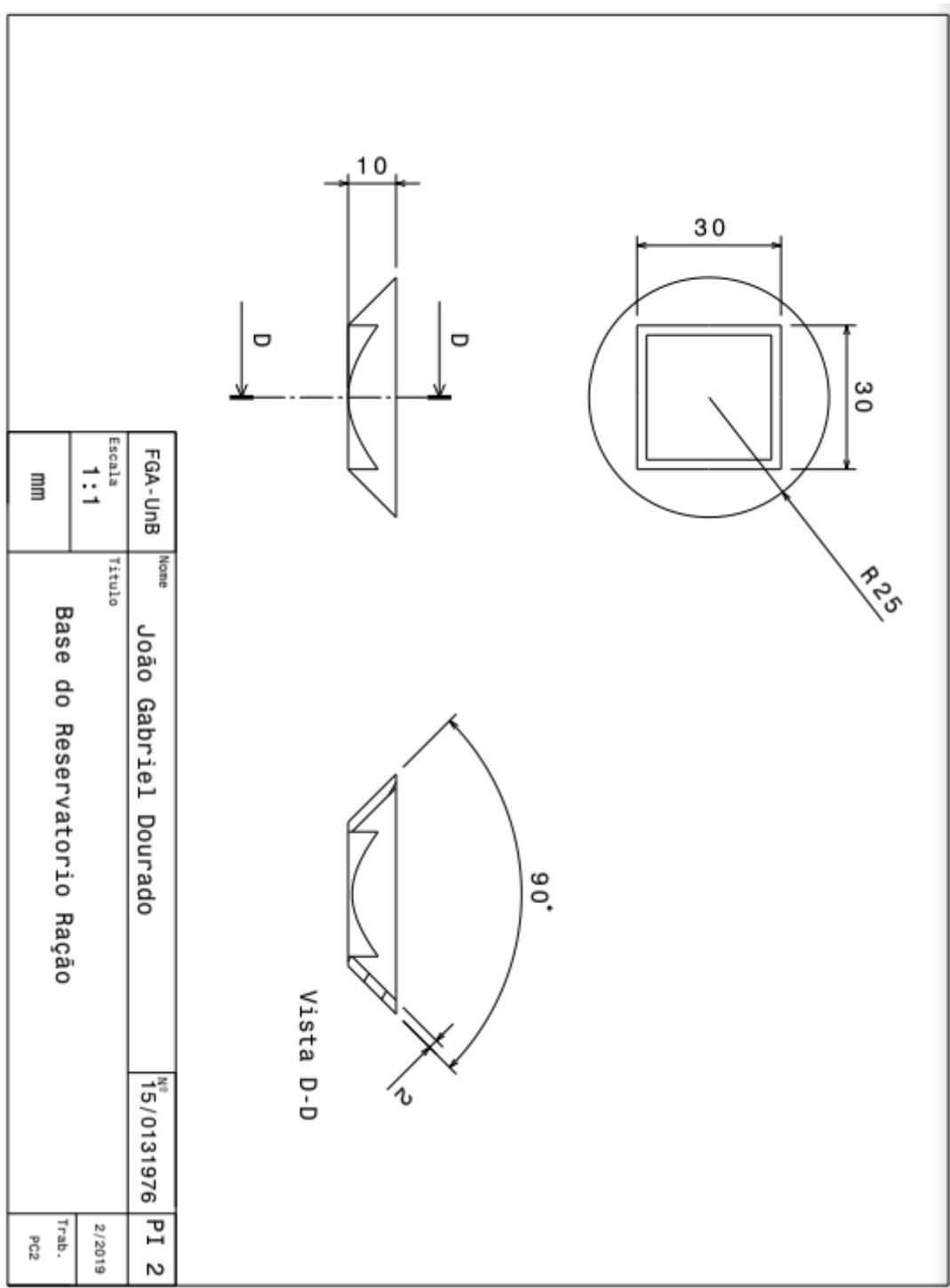


Figura 73 – Base reservatório - fonte: autor

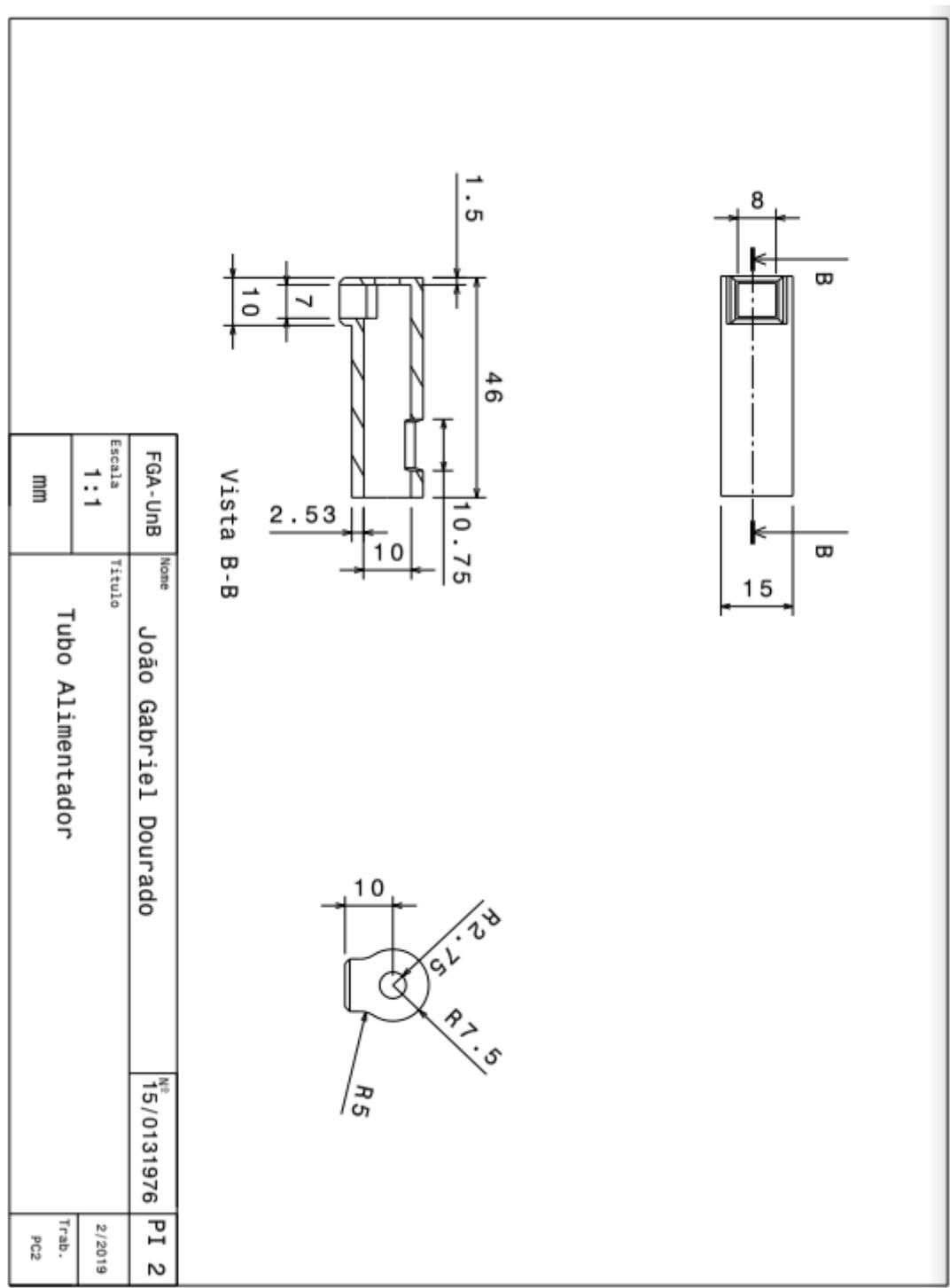


Figura 74 – Tubo de alimentação - fonte: autor

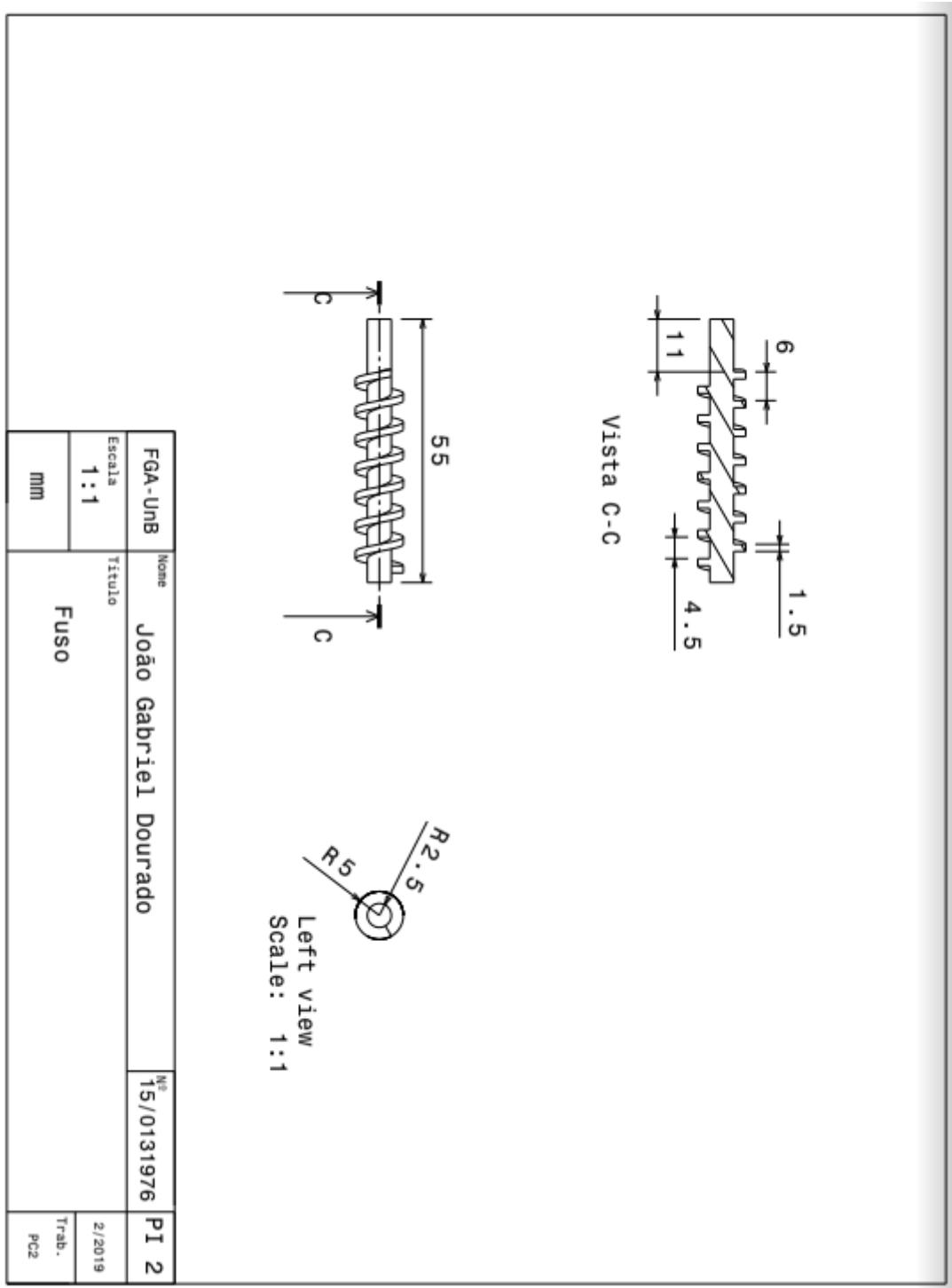


Figura 75 – Fuso - fonte: autor

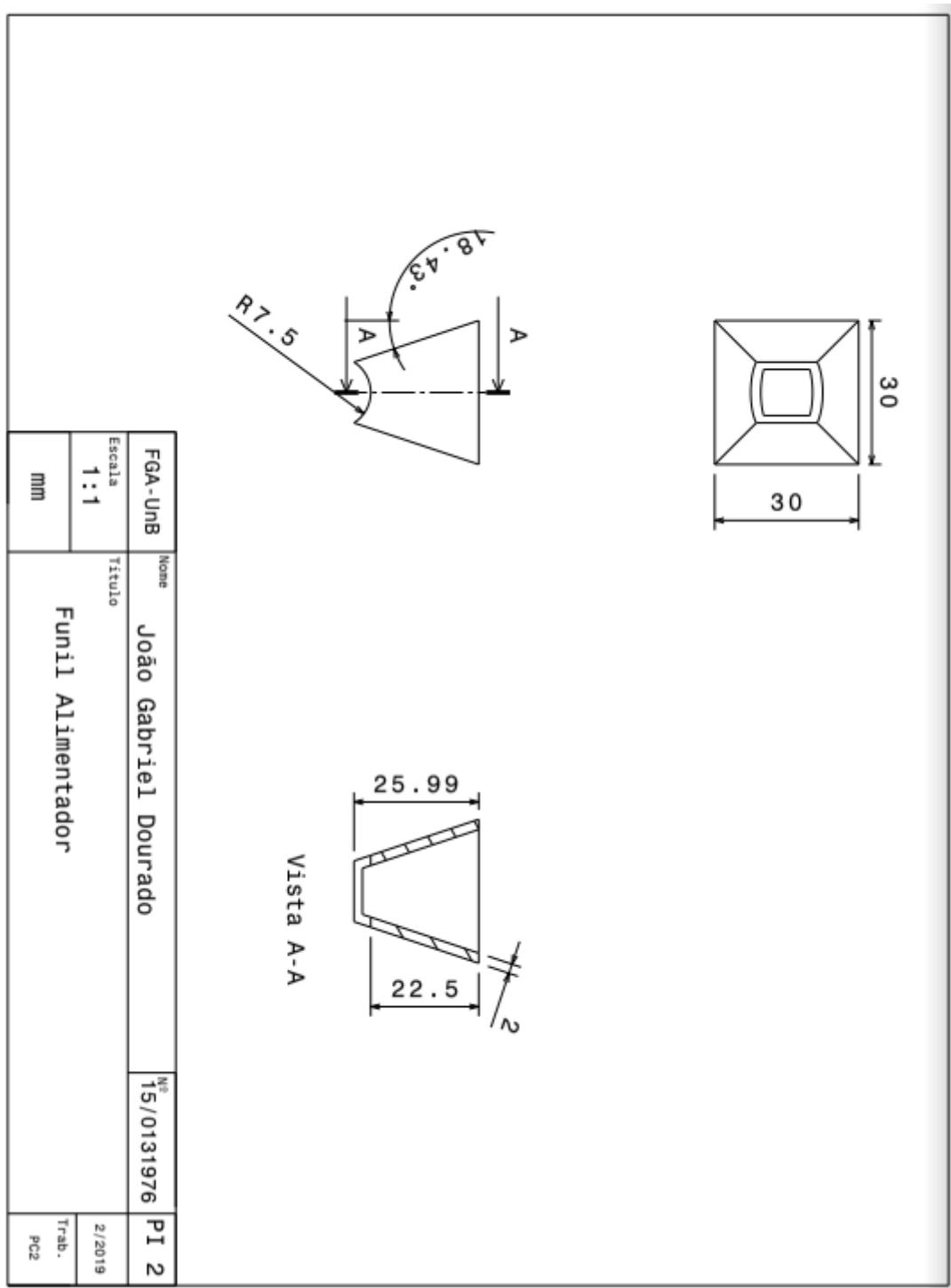


Figura 76 – Funil alimentador - fonte: autor

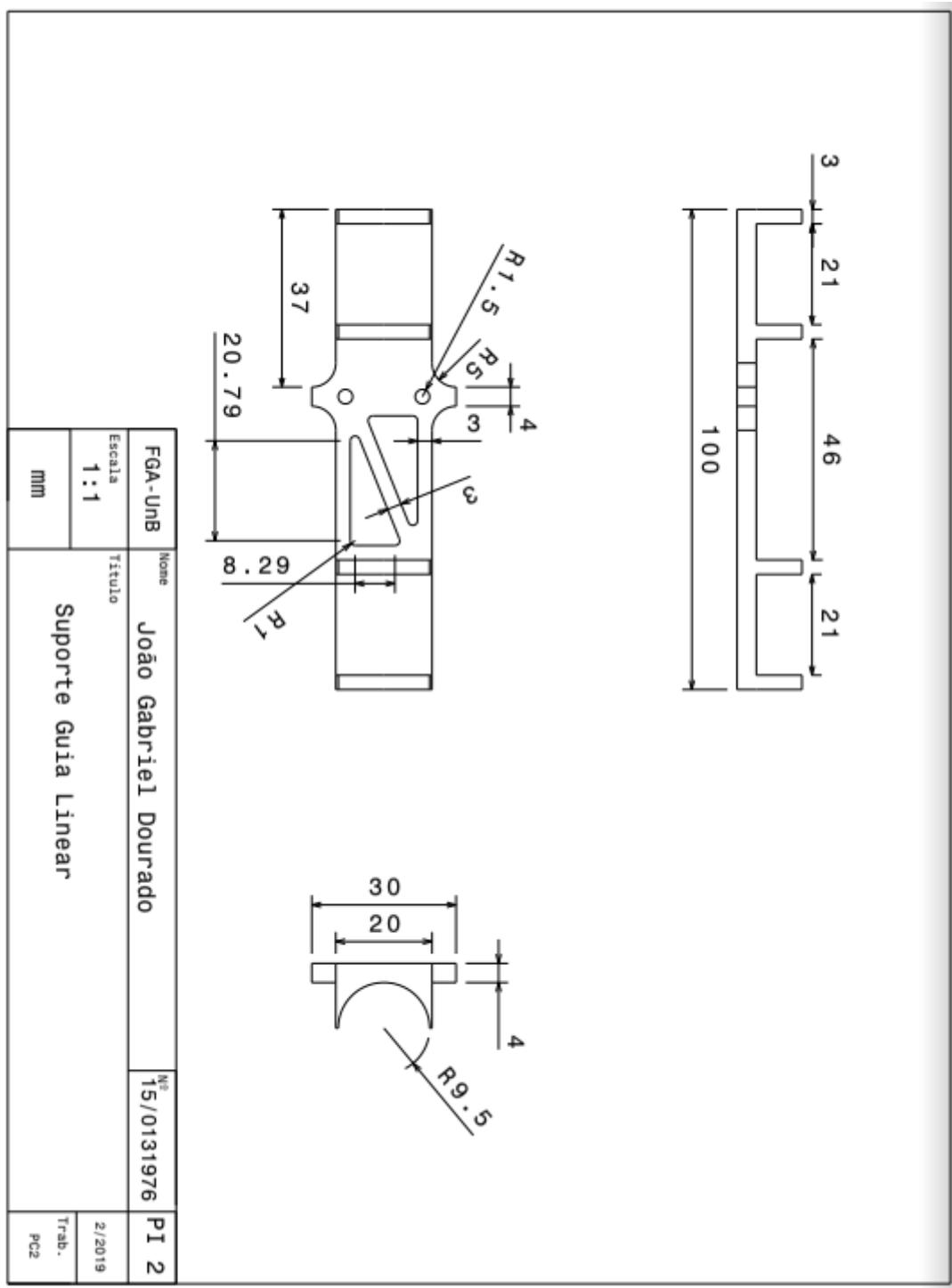


Figura 77 – Suporte guia linear - fonte: autor

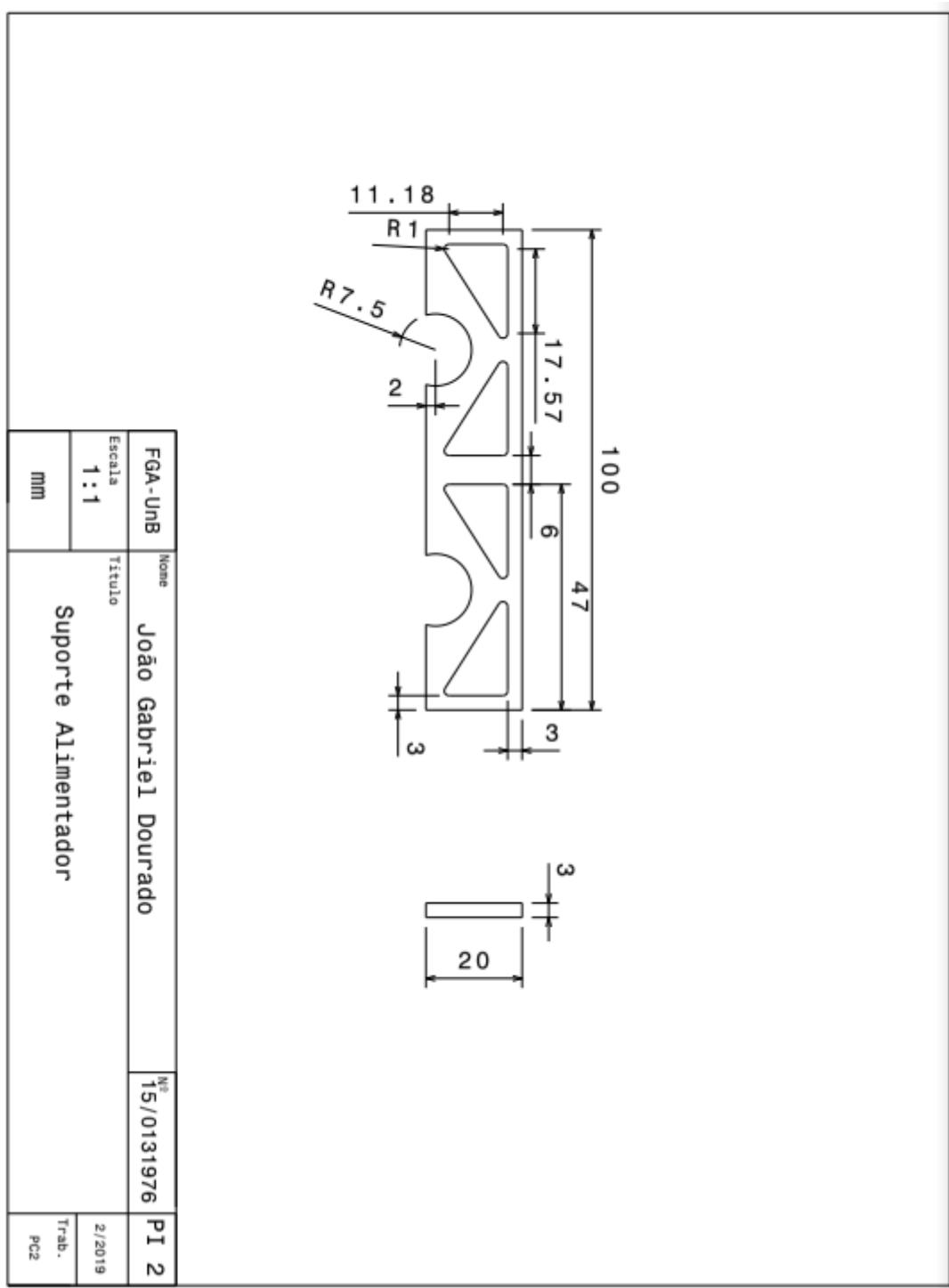


Figura 78 – Suporte alimentador - fonte: autor

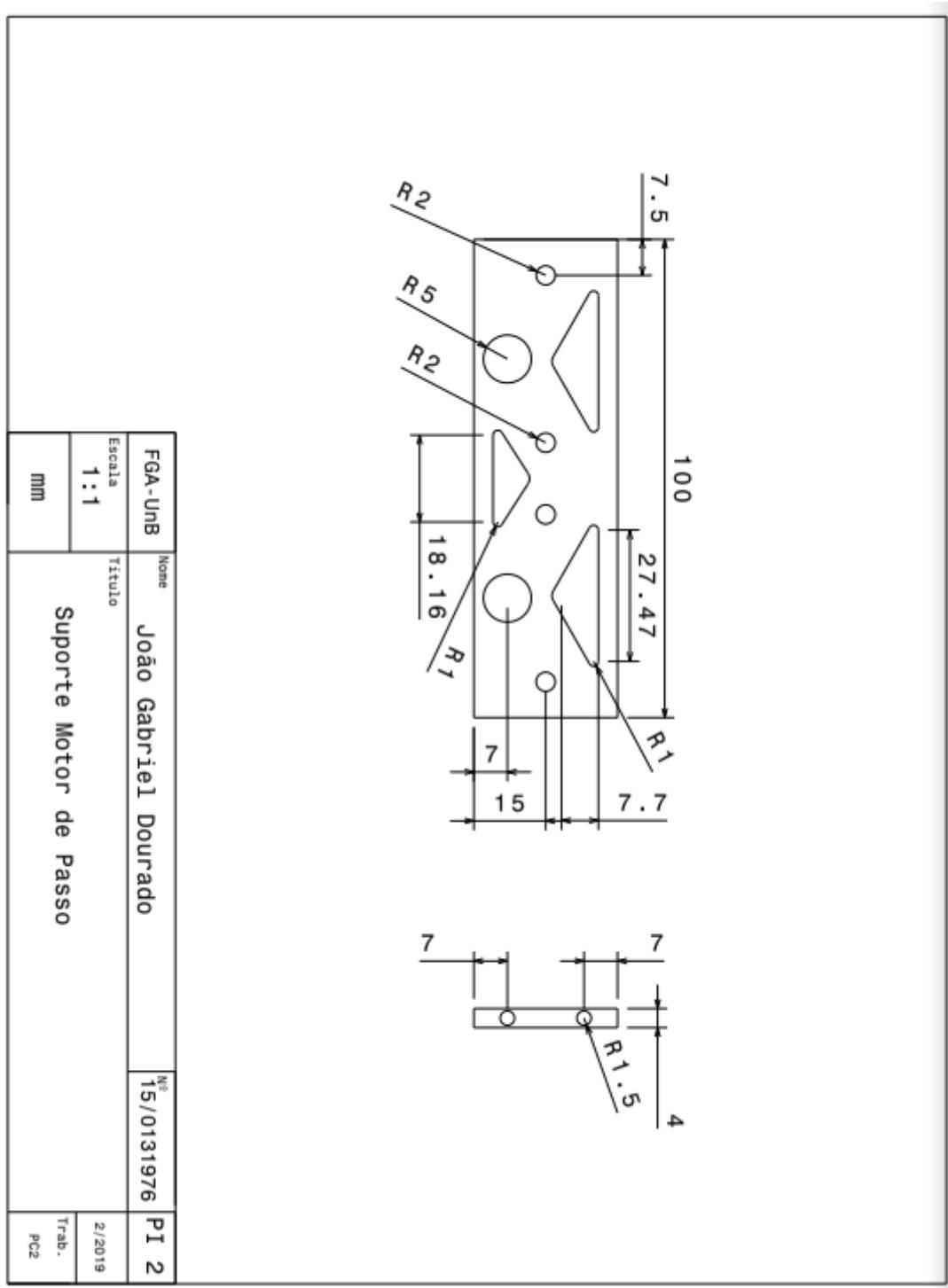


Figura 79 – Suporte motor de passo - fonte: autor

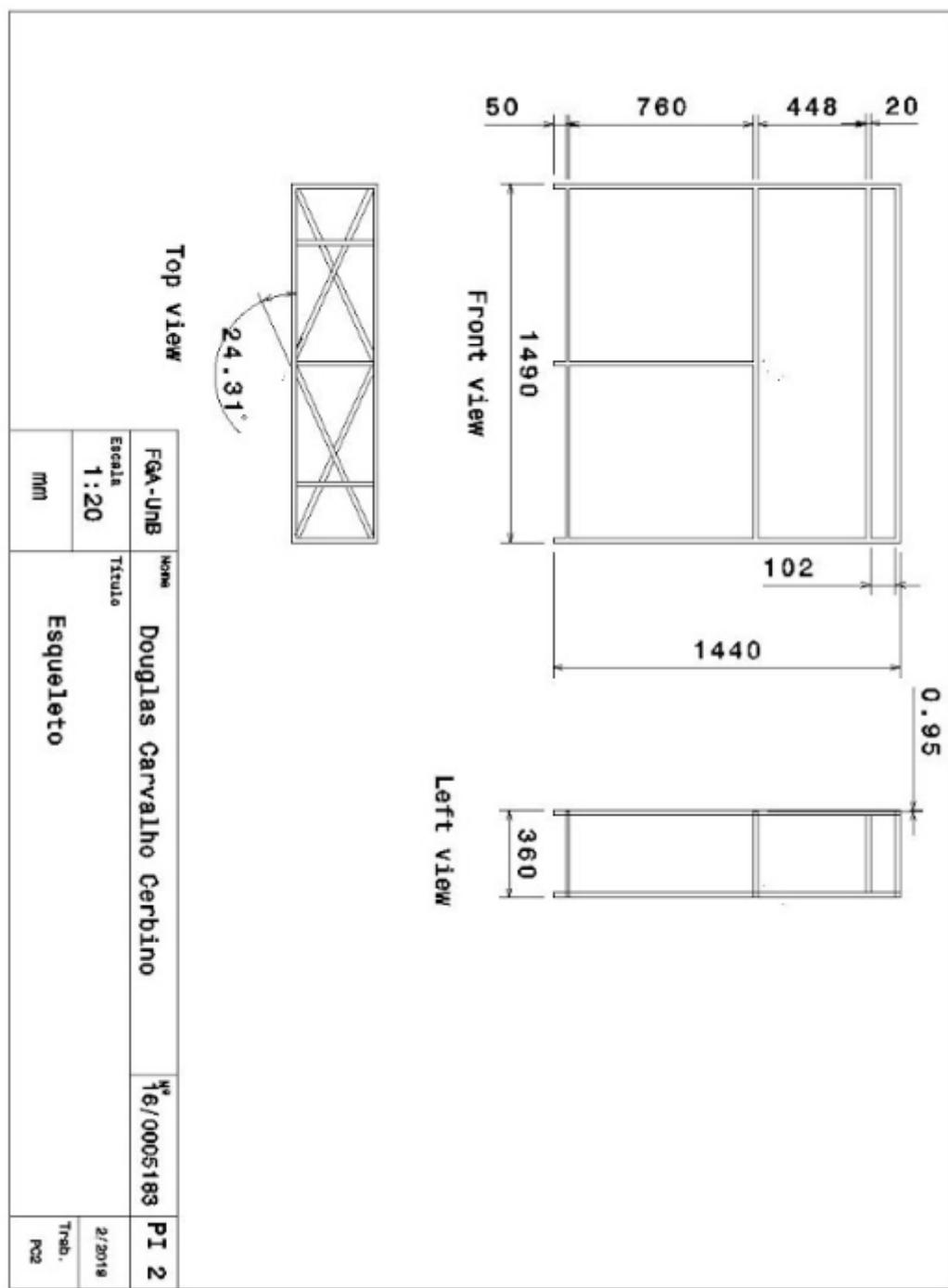


Figura 80 – Esqueleto de sustentação - fonte: autor

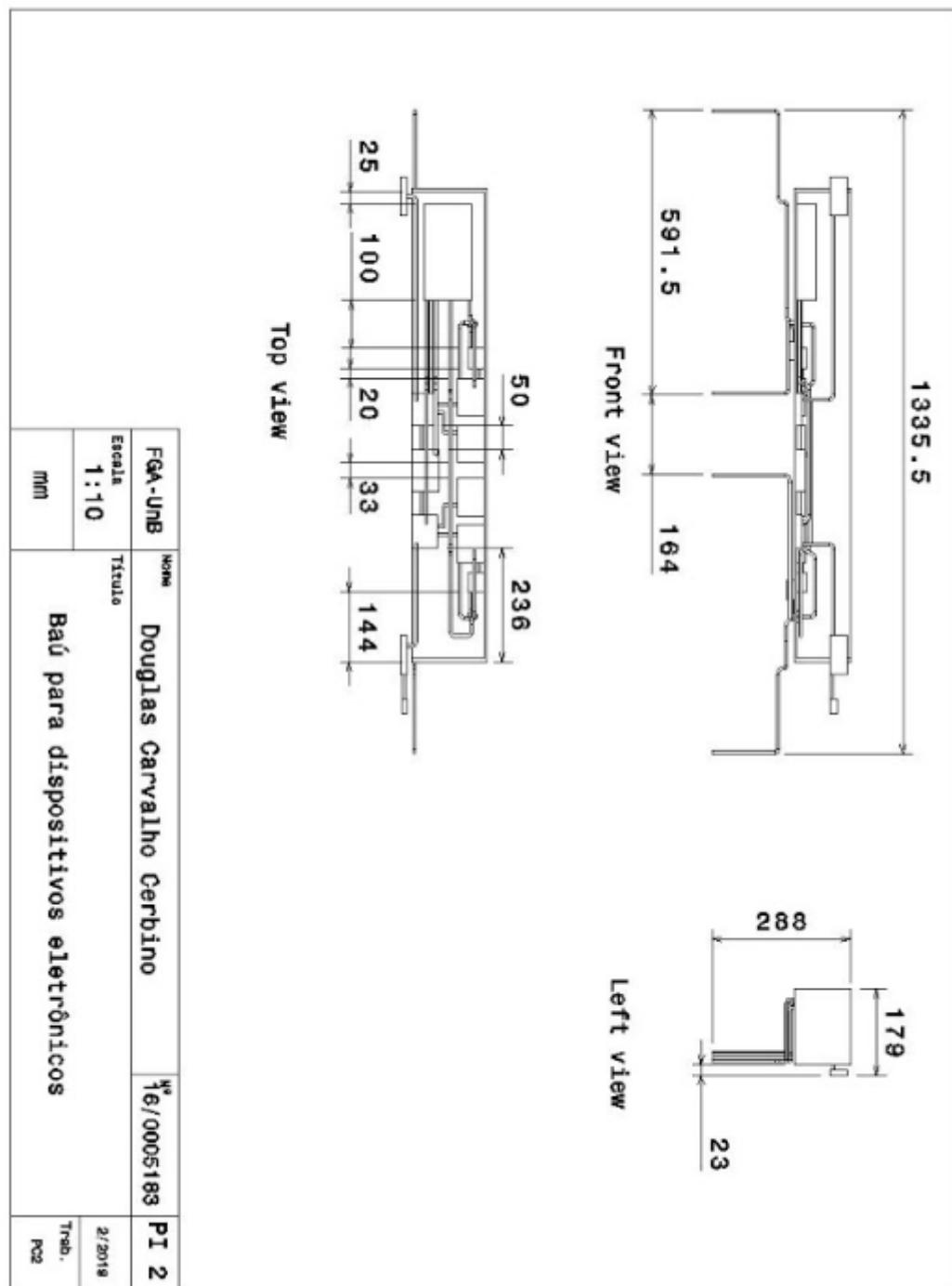


Figura 81 – Baú de componentes eletrônicos - fonte: autor

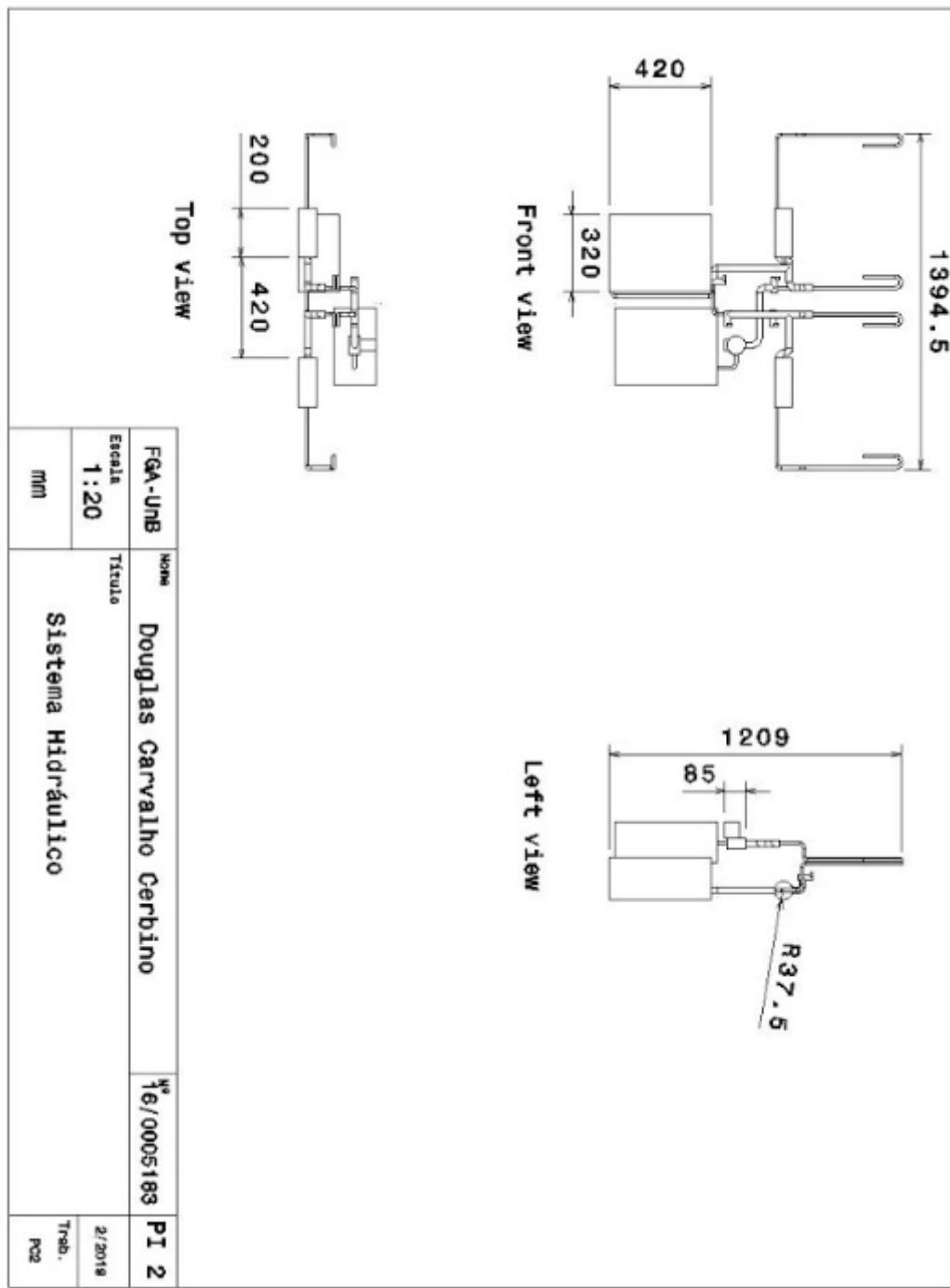


Figura 82 – Sistema hidráulico - fonte: autor

6.2 Eletrônica

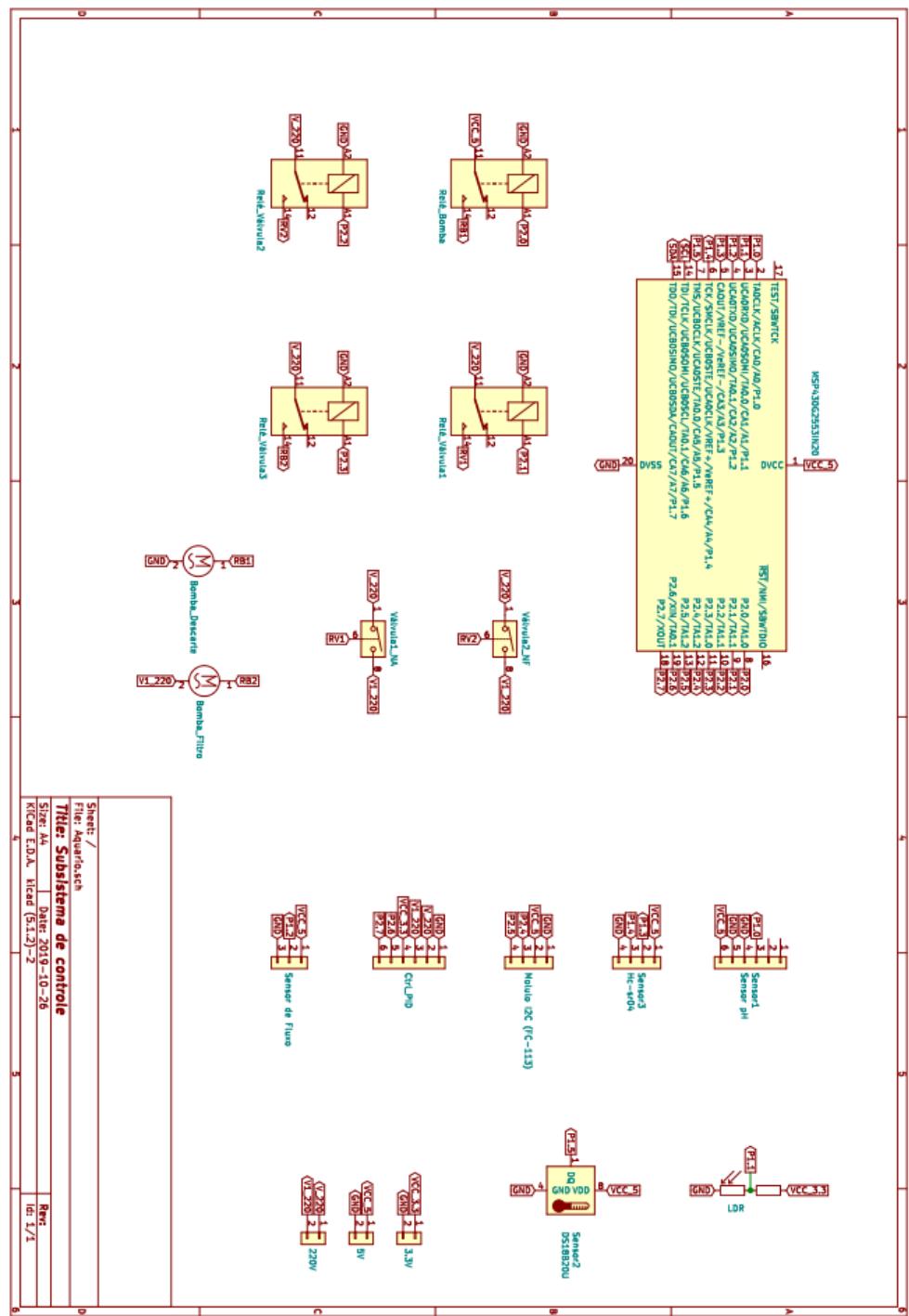


Figura 83 – Diagrama elétrico I - fonte: autor

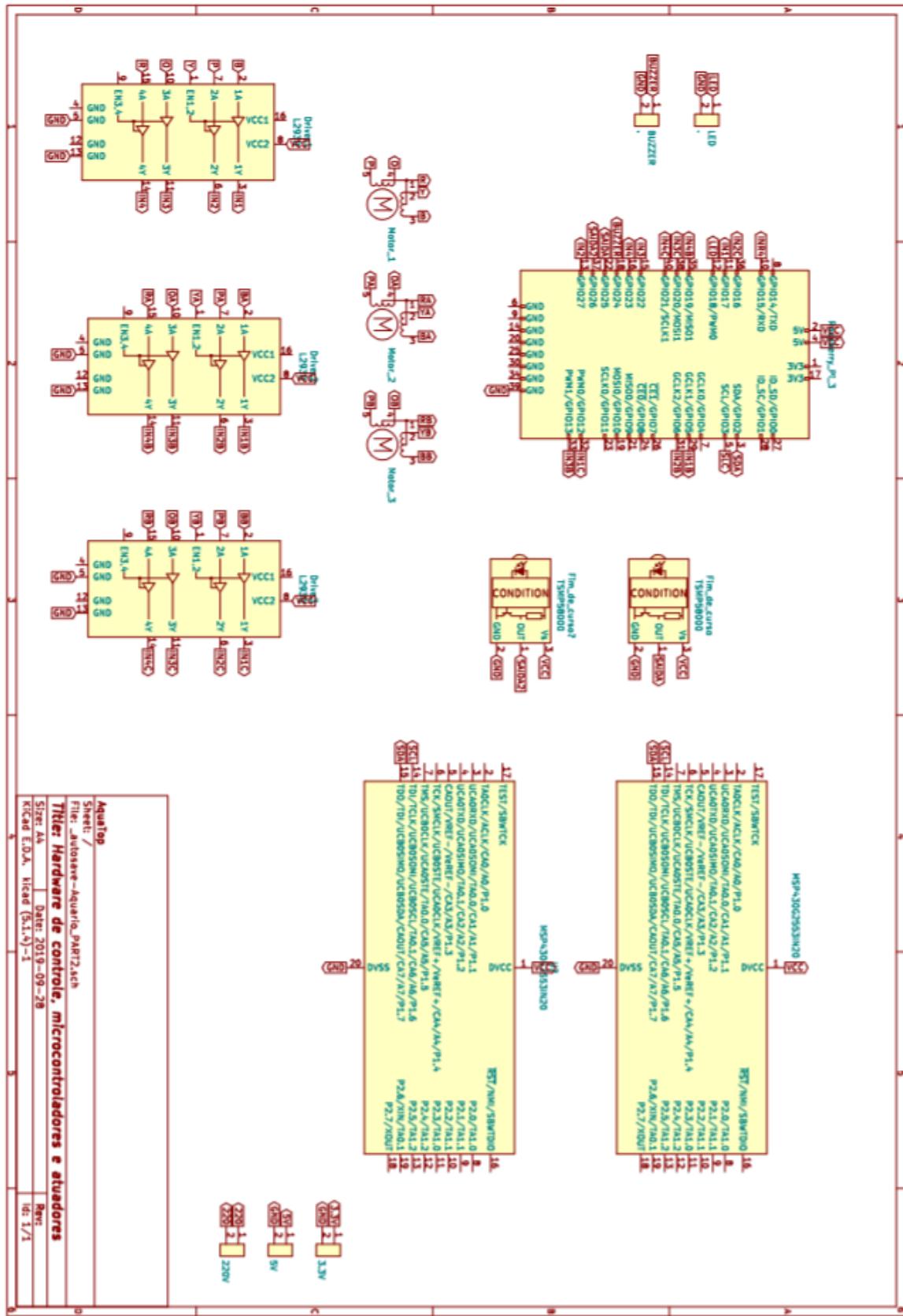


Figura 84 – Diagrama elétrico II - fonte: autor

7 Auto Avaliação

Nome	Engenharia	Autoavaliação
Alice Fazzolino Pinto Barbosa	Eletrônica	Desenvolvimento dos diagramas do sistema eletrônico; Desenvolvimento de cálculos e modelagem do PID; Participação no desenvolvimento e testes da implementação em hardware dos circuitos auxiliares de ativação de potência; Participação na escrita e revisão do relatório.
Gabriel Santos Silva Araújo	Eletrônica	Desenvolvimento do sistema de alimentação, troca d'água; Testes e desenvolvimento de códigos de integração dos sensores e atuadores do sistema; Integração dos subsistemas com o sistema principal; Auxílio nos testes dos circuitos de controle de potência do aquecedor e no desenvolvimento da PCB.
Joselito Prado Marques da Silva	Eletrônica	Desenvolvimento da rede de petri do projeto e do diagrama de integração dos subsistemas de eletrônica entre si e com software.
Thiago Gomes de Sousa Bezerra	Eletrônica	Desenvolvimento de cálculos, simulações do sistema de controle PID, implementação em hardware; Desenvolvimento dos circuitos auxiliares de ativação de potência; Desenvolvimento de layout de pcb; Sistema de alarme controle de fluxo; Auxílio na integração dos sensores e comunicação raspberry e msp.
Fernanda Jesus de Souza Alves	Energia	Dimensionamento e escolha das bombas para retirada de água e dos filtros. Cálculo de temperatura e potência para dimensionamento do aquecedor. Escolha do aquecedor. Cálculos de perda de carga das bombas do filtro e da retirada de água. Compra de componentes. Construção dos filtros. Construção das mídias filtrantes. Realização de testes do filtro, da retirada de água e dos aquecedores.
Gabriel Batista dos Santos Sousa	Energia	Ajuda na construção do filtro e das mídias filtrantes. Ajuste e compra das válvulas de entrada de água do aquário no filtro. Concepção e teste do circuito verificador e de chaveamento do nobreak. Realização do diagrama e testes da fonte de alimentação.
Luis Felipe Marcelino Nolasco	Energia	Compra de componentes. Ajuda no dimensionamento e na escolha das bombas para retirada de água e dos filtros. Ajuda nos cálculos de perda de carga das bombas do filtro e da retirada de água. Construção dos filtros. Construção das mídias filtrantes. Realização de testes do filtro, da retirada de água e dos aquecedores. Realização dos cálculos do PID.

João Gabriel Dourado Brandão	Automotiva	Fabricação do esqueleto, usinagem dos eixos em poliacetal e alumínio, montagem das chapas de MDF no esqueleto, pintura das chapas, CAD do filtro, CAD suportes, polias, esticador de correia do mecanismo de alimentação. Impressão 3D dos componentes e montagem do mecanismo de alimentação na estrutura. Gestão da qualidade e revisão de documentos.
Douglas Carvalho Cerbino	Aeroespacial	Compra do material para a construção do esqueleto e do MDF utilizado na estrutura. Pintura do MDF. Fixação do MDF e portas. Testes do motor de passo. Montagem do diagrama de integração.
Laura Domingos Galant	Aeroespacial	Compra do material para a construção do esqueleto e acabamento da estrutura. Pintura do MDF externo, pintura e montagem do baú de eletrônicos. Fixação do MDF e portas. Testes do motor de passo e da resistência do esqueleto da estrutura. Definição da localização e fixação de componentes dentro da estrutura. Controle do fluxo de caixa e liberação de orçamento para componentes/ materiais. Elaboração do relatório de estruturas. Revisão e formatação do relatório. Mediação do plano de integração.
Lucas Arthur Lermen	Software	Participação no desenvolvimento do app, dos microserviços: monitoring, websocket-server, aquarium, scheduling, na parte de devops do projeto com um docker-compose geral, escrita do relatório e início a integração com a parte de eletrônica.
Lucas Pereira de Andrade Macedo	Software	Participação no desenvolvimento do app, dos microserviços: monitoring, websocket-server, aquarium, scheduling, na parte de devops do projeto com um docker-compose geral, escrita do relatório e início a integração com a parte de eletrônica.
Lucas Siqueira Rodrigues	Software	Participação no desenvolvimento do app, dos microserviços: monitoring, websocket-server, aquarium, scheduling, na parte de devops do projeto com um docker-compose geral, escrita do relatório e início a integração com a parte de eletrônica.

Tabela 7 – Auto Avaliação