

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL

ERNESTO KENJI KANNO
LEONARDO FELIPE P. DE MORAES
LUCAS MARTINS DOBUCHAK

ROBÔ LIMPADOR DE PAREDE DE PISCINA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2014

ERNESTO KENJI KANNO
LEONARDO FELIPE P. DE MORAES
LUCAS MARTINS DOBUCHAK

ROBÔ LIMPADOR DE PAREDE DE PISCINA

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial do Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN – e Mecânica – DAMEC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Dr. Gilson Yukio Sato

CURITIBA
2014

TERMO DE APROVAÇÃO

ERNESTO KENJI KANNO
LEONARDO FELIPE P. DE MORAES
LUCAS MARTINS DOBUCHAK

ROBÔ LIMPADOR DE PAREDE DE PISCINA:

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado no dia 07 de agosto de 2014, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Os alunos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Milton Luiz Polli
Coordenador de Curso
Departamento Acadêmico de Mecânica

Prof. Esp. Sérgio Moribe
Responsável pela Atividade de Trabalho de Conclusão de Curso
Departamento Acadêmico de Eletrônica

BANCA EXAMINADORA

Prof. Mestre João Almeida de Góis
UTFPR

Prof. Doutor Valmir de Oliveira
UTFPR

Prof. Doutor Gilson Yukio Sato
Orientador - UTFPR

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

AGRADECIMENTOS

A Deus, familiares, amigos e colegas do curso que nos deram forças nos momentos difíceis e nos motivaram para que nunca desistíssemos de nossos objetivos.

Ao Professor e Orientador Gilson Yukio Sato, pelo apoio, dedicação e pelos conhecimentos transmitidos ao longo de todo o curso, inclusive no desenvolvimento deste trabalho.

A todos os professores do curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, que foram de grande importância na vida acadêmica e no desenvolvimento profissional de todos nós.

A todos que de alguma forma nos auxiliaram nesta caminhada para a conclusão desta etapa de nossa vida.

RESUMO

KANNO, Ernesto Kenji; MORAES, Leonardo Felipe Pedroso de; DOBUCHAK, Lucas Martins. **Robô limpador de parede de piscina**. 2014. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial), Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

Considerando as atividades de limpeza doméstica, foi observado que existe um processo que requer grande esforço físico e tempo para ser realizado: a limpeza de piscina. Uma das etapas desse processo é a escovação das paredes laterais, que pode ser considerada como a etapa mais árdua. Ela é necessária para limpar o acúmulo de sujeira ou algas que podem estar presentes nas paredes da piscina. Buscando automatizar esse processo, foi desenvolvido o protótipo de um robô limpador de parede de piscina, controlado por um sistema microcontrolado. O protótipo foi desenvolvido visando realizar o processo de limpeza da parede de piscinas retangulares, quadradas ou redondas com raio superior a 1,5 m, devendo apenas ser reposicionado para outra face da mesma, após o término de cada ciclo. O produto tem potencial de comercialização principalmente para atender residências, condomínios, hotéis, colégios, faculdades ou clubes que possuam piscinas.

Palavras-chave: Limpeza residencial. Automação residencial. Limpeza de piscina. Escovação de parede de piscina.

ABSTRACT

KANNO, Ernesto Kenji; MORAES, Leonardo Felipe Pedroso de; DOBUCHAK, Lucas Martins. **Robotic pool wall cleaner**. 2014. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial), Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

Some household activities demand a great deal of physical effort and time. Regarding pool cleaning, the most tiresome activity is the brushing of the side walls. This process is necessary in order to cleanse the dirt and algae that accumulate over time. Seeking to reduce this burden, a robot was developed to perform the cleaning of the pool side walls. It is controlled by a system with a microcontroller. The prototype was developed to accomplish this task on square, rectangular and circular pools with a radius greater than 1,5m. It only requires repositioning from one side to another after each cycle. The prototype has the commercial potential, and could be used in houses, condos, hotels, schools, colleges and clubs.

Keywords: Home automation. Pool cleaning.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ANOS MÉDIOS DE ESTUDO DAS TRABALHADORAS DOMÉSTICAS ENTRE 1999 E 2009.....	12
FIGURA 2 - VISTA SUPERIOR DO ROBÔ ASPIRADOR ROOMBA <i>RED</i> DA IROBOT.	20
FIGURA 3 - VISTA INFERIOR DO ROBO ASPIRADOR ROOMBA <i>RED</i> DA IROBOT.	20
FIGURA 4 -MOTOR DA RODA DIREITA DE TRAÇÃO DO ROBÔ ROOMBA DA IROBOT.....	21
FIGURA 5 - DETALHE DOS SENSORES SUPERIORES.	21
FIGURA 6 - DETALHE DOS SENSORES INFERIORES.....	22
FIGURA 7 - DESTAQUE SISTEMA DE LIMPEZA ROBÔ ROOMBA DA IROBOT.	23
FIGURA 8 -COMPONENTES PRINCIPAIS DE UMA PISCINA.	24
FIGURA 9 - PH IDEAL PARA PISCINAS.....	24
FIGURA 10 - ESCOVA DE CERDAS DE NYLON.....	25
FIGURA 11 – ESCOVA DE CERDAS DE INOX.....	25
FIGURA 12 – POLARIS 9300 SPORT.	26
FIGURA 13 - FILTRO DE LIMPEZA DO ROBÔ “9300 SPORT”.	27
FIGURA 14 - FILTROS DO ROBÔ MIRRA.....	28
FIGURA 15 - ESCOVAS DO ROBÔ MIRRA DA <i>IROBOT</i>	28
FIGURA 16 - VISTA ISOMÉTRICA DO PROJETO EM 3D.	30
FIGURA 17 - BASE DOS COMPONENTES.....	31
FIGURA 18 - BASE LATERAL.	31
FIGURA 19 - SENSOR DE POSICIONAMENTO.....	32
FIGURA 20 - ITENS DO SENSOR DE POSICIONAMENTO.	33
FIGURA 21 - SISTEMA DE ELEVAÇÃO.	34
FIGURA 22 - VISTA EM CORTE DO SISTEMA DE ELEVAÇÃO.	34
FIGURA 23 - SISTEMA DA ESCOVA.	35
FIGURA 24 -SISTEMA DA ESCOVA – VISTA EXPLODIDA.....	36
FIGURA 25 - SISTEMA DE TRAÇÃO.	36
FIGURA 26 - RODÍZIO.	37
FIGURA 27 - MOTOR DC – MOTOR DA ESCOVA.	38
FIGURA 28 - AMBIENTE DE PROGRAMAÇÃO DO PCW.	39
FIGURA 29: HARDWARE DE PROGRAMAÇÃO ICD-U40.....	40
FIGURA 30 - <i>SOFTWARE</i> DE PROGRAMAÇÃO ICD.	40
FIGURA 31 - FLUXOGRAMA DA LÓGICA DO <i>FIRMWARE</i>	41
FIGURA 32 - DIAGRAMA EM BLOCOS DO <i>HARDWARE</i>	43
FIGURA 33 - AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO DA PCI.....	44
FIGURA 34 - DESENVOLVIMENTO DO DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO <i>HARDWARE</i>	44
FIGURA 35 - CIRCUITO DO MICROCONTROLADOR.	45
FIGURA 36 - CIRCUITO DO SENSOR DE POSIÇÃO.	46
FIGURA 37 - CIRCUITO DOS SENSORES.	47
FIGURA 38 - CIRCUITO DO SINALIZADOR SONORO DE FIM DE PERCURSO.....	47
FIGURA 39 - CIRCUITO DE ACIONAMENTO DA ESCOVA DE LIMPEZA.....	48
FIGURA 40 - CIRCUITO DE SUBIDA E DESCIDA DA ESCOVA DE LIMPEZA.	48
FIGURA 41 - CIRCUITO DE MOVIMENTAÇÃO DO EQUIPAMENTO.....	49
FIGURA 42 - PISCINA TESTE – PAREDE LATERAL.	62
FIGURA 43 – PISCINA TESTE – VISTA SUPERIOR.....	62
FIGURA 44 – COMPARAÇÃO DE ÁREA LIMPA (Nº 1) E ÁREA AINDA NÃO LIMPA (Nº 2)....	64
FIGURA 45 – VISTA GERAL – PROTÓTIPO.....	65
FIGURA 46 – VISTA GERAL – LIMPEZA EM BORDA CURVA.....	65
FIGURA 47 – VISTA SUPERIOR DO PROTÓTIPO – ACIONAMENTO DE FIM DE CURSO. ...	66

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – CUSTOS – CHICOTES E CABOS.	54
QUADRO 2 – CUSTOS – PLACA CONTROLADORA.	55
QUADRO 3 – CUSTOS – OUTROS ITENS ELÉTRICOS.	56
QUADRO 4 – CUSTOS – PEÇAS COMPRADAS.	56
QUADRO 5 – CUSTOS – PEÇAS USINADAS.	57
QUADRO 6 – CUSTO TOTAL DE MATÉRIA PRIMA – PROTÓTIPO.....	57
QUADRO 7 – MAPA DE CUSTOS INDIRETOS DE FABRICAÇÃO.	58
QUADRO 8 – HORAS DISPONÍVEIS PARA TRABALHAR – MÊS FICTÍCIO.....	58
QUADRO 9 – HORAS PRODUTIVAS, APONTADAS E IMPRODUTIVAS.	58
QUADRO 10 – SALÁRIO MENSAL DO DEPARTAMENTO DE MECÂNICA E ELETRÔNICA E ENCARGOS.	59
QUADRO 11 – CUSTO DE MÃO DE OBRA DO DEPARTAMENTO DE MECÂNICA E ELETRÔNICA E ENCARGOS.	59
QUADRO 12 – CUSTO/HORA DA MÃO DE OBRA DO DEPARTAMENTO DE MECÂNICA E ELETRÔNICA.	59
QUADRO 13 – CUSTO DE MÃO DE OBRA DIRETA.	59
QUADRO 14 – CUSTO INDIRETO DE FABRICAÇÃO RATEADO AO PRODUTO.	59
QUADRO 15 – DRE – CÁLCULO DO CUSTO FINAL.	60
QUADRO 16 – DADOS DO MÊS FICTÍCIO – LUCRO LÍQUIDO PARA VENDA DE 60 UNIDADES NO MÊS.	60
QUADRO 17 – CUSTO DE LIMPEZA DE PISCINA – DUAS VEZES POR SEMANA.	60
QUADRO 18 – PONTO DE EQUILÍBRIO – MESES DE USO X CUSTO FINAL.	60
QUADRO 19 – COMPARAÇÃO DE CUSTOS MENSAL PARA LIMPEZA DE PISCINA.	61
QUADRO 20 – FICHA TÉCNICA DO ROBÔ LIMPADOR DE PISCINA – PROTÓTIPO.	63

LISTA DE SIGLAS

AC	Corrente alternada (<i>alternating current</i>)
COFINS	Contribuição para o Financiamento de Seguridade Social
DC	Corrente contínua (<i>Direct current</i>)
HP	<i>Horsepower</i>
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IFR	<i>International Federation of Robotics</i>
PDCA	Planejar, Executar, Verificar e Agir (<i>Plan, Do, Check, Act</i>)
PIS	Programa de Integração Social
RLPP	Robô Limpador de Parede de Piscina

SUMÁRIO

1.0	INTRODUÇÃO	10
1.1	PROBLEMA	12
1.2	JUSTIFICATIVA	14
1.3	OBJETIVOS	16
1.3.1	Objetivo geral	16
1.3.2	Objetivos específicos	16
1.4	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	17
2.0	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	PROCESSO AUTOMATIZADO DE LIMPEZA – ASPIRADOR DE PÓ (ROOMBA)	19
2.2	SISTEMA DE LIMPEZA (ROOMBA)	22
2.3	PROCESSO DE LIMPEZA COMUM DE PISCINA	23
2.4	PROCESSOS AUTOMATIZADOS DE LIMPEZA DE PISCINA	26
2.5	POLARIS 9300 SPORT	26
2.6	IROBOT MIRRA	28
3.0	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	29
3.1	MECÂNICA	30
3.1.1	Base mecânica	31
3.1.1.1	Base lateral – itens fixados	32
3.1.2	Elevação	33
3.1.3	Escova	35
3.1.4	Tração	36
3.1.5	Rodízio	37
3.2	ELÉTRICA	37
3.2.1	Motor DC	38
3.3	ELETRÔNICA	39
3.3.1	Programação	39
3.3.2	<i>Firmware</i>	41
3.3.3	Desenvolvimento do <i>Hardware</i>	43
3.3.4	Integração	50
3.3.5	Correção de falhas	51
4.0	CUSTOS	54
5.0	TESTES E RESULTADOS	62
6.0	CONCLUSÃO	67
	REFERÊNCIAS	69
	ANEXO A – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO <i>HARDWARE</i>	71

1.0 INTRODUÇÃO

O ser humano busca continuamente soluções que visem reduzir a necessidade de esforço físico e facilitem a realização de determinadas atividades. Esta constante procura em criar meios e dispositivos que o auxiliem pode ser denominada de automação. A ideia de automação existe desde a pré-história, a partir da invenção da roda para transportar materiais, porém sua utilização foi ampliada a partir do século XVIII, com o conceito das linhas de montagem de Ford (MEIRA, 2008). Atualmente, a ideia de automatizar um processo pode ser encontrada tanto no setor industrial, como, por exemplo, no setor residencial.

Entende-se como automação residencial a utilização de tecnologia para facilitar ou realizar algumas atividades rotineiras que eram até então realizadas por um ser humano. Essas atividades são realizadas por equipamentos previamente programados, acrescentando conforto, diminuindo o tempo de execução ou aumentando a segurança do proprietário do imóvel (AUTOMATIC HOUSE, 2013).

Depois de identificada a necessidade de automatizar alguns processos domésticos que tomavam tempo do seu proprietário ou que implicavam em custos pela contratação de colaboradores externos, várias empresas desenvolveram robôs capazes de realizar tarefas domésticas. Dentre eles, pode-se destacar o robô aspirador de pó que é capaz de realizar a limpeza de ambientes de forma automática, evitando colisões e se recarregando automaticamente. Pode-se citar o exemplo do robô “Roomba *red*” do fabricante *Irobot* (*IRobot, 2013*)

Aliando a ideia do robô aspirador de pó com a necessidade de limpeza de piscinas residenciais, observou-se a oportunidade de desenvolver um equipamento para realizar a limpeza das paredes da piscina, que é uma das atividades domésticas mais desgastantes e que demandam maior tempo de execução. Além do grande esforço físico necessário, a necessidade de realizar esse tipo de limpeza periodicamente contribuiu para a decisão de desenvolver o robô limpador de parede de piscina (RLPP).

O RLPP é capaz de realizar a automação do processo de escovação da parede da piscina a um baixo custo, se comparado com o valor gasto

anualmente com um prestador de serviço terceirizado. Além disso, o sistema evita que seja concedido acesso a pessoas estranhas ao domicílio, proporcionando maior privacidade e segurança aos moradores do imóvel. Além da utilização em residências, este produto pode ser utilizado em academias de natação, clubes, colégios ou faculdades que possuam esse ambiente de esporte e lazer.

Desenvolvido inicialmente para atender diversos tamanhos e formatos de piscinas (exceto as redondas), o sistema é capaz de realizar a limpeza de paredes evitando assim a formação de algas e a aglomeração de sujeira, inclusive em piscinas com a utilização de rejunte entre pastilhas de vidro ou azulejos. O produto é capaz de identificar variações na profundidade da piscina, realizando uma limpeza eficiente ao longo de toda sua extensão, independentemente da existência de desníveis ou degraus.

Além da escovação da parede, o sistema é capaz de aspirar a água da área na qual está sendo realizada a escovação e direcioná-la ao sistema de filtragem da piscina, evitando que os detritos removidos da parede permaneçam na água.

1.1 PROBLEMA

Com as mudanças socioeconômicas ocorridas no país, entre elas o acesso à educação formal, a oferta de serviços domésticos deve diminuir e o seu custo aumentar, conforme pesquisa realizada pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) (BANDAB, 2011). Verifica-se essa tendência desde o início do século XXI (Figura 1).

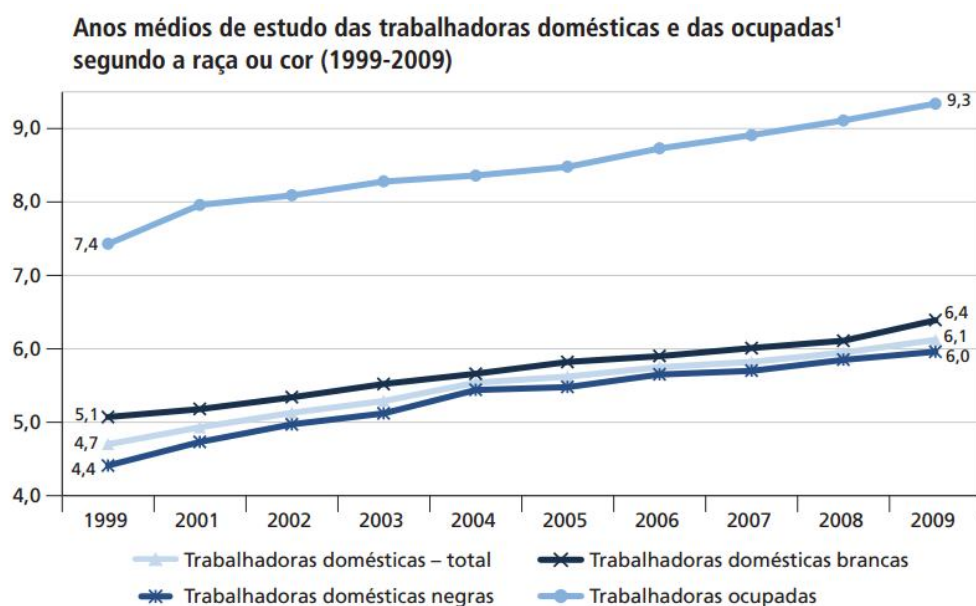


Figura 1 - Anos médios de estudo das trabalhadoras domésticas entre 1999 e 2009.
Fonte: IPEA (2011).

Além do aumento dos custos envolvendo a mão de obra doméstica devido à diminuição da oferta, as mudanças no quadro legal podem aumentar mais o custo. A Emenda Constitucional nº 66/2012 equipara os direitos dos trabalhadores domésticos aos dos outros trabalhadores e conseqüentemente aumenta o custo do serviço doméstico (PERROTI, 2013). Isso ajuda a justificar a necessidade da procura de novos métodos ou soluções para executar as tarefas rotineiras de limpeza.

Devido às circunstâncias apresentadas, várias empresas já investem na criação de robôs para auxiliar na realização das atividades domésticas. Robôs para realizar a limpeza de pisos (escovar ou aspirar) estão sendo desenvolvidos por diversos fabricantes.

Foi identificado por um dos autores deste trabalho que um processo que demanda considerável tempo e esforço físico na sua realização, era a escovação da parede da piscina. Se for contratada uma empresa terceirizada especializada neste tipo de serviço (limpeza de piscinas), os custos do serviço variam de R\$ 400,00 (quatrocentos reais) à R\$ 700,00 (setecentos reais) por mês¹, dependendo da quantidade de dias na semana em que o serviço era realizado. Vale salientar que este valor é maior para piscinas de dimensões maiores, como, por exemplo, as existentes em clubes e faculdades.

Visando colaborar com os moradores que possuem piscina em sua residência, assim como reduzir os custos de colégios, clubes ou faculdades com serviços de limpeza, propõem-se criar um robô para realizar a atividade mais árdua no processo de limpeza desta área: a escovação das paredes da piscina.

¹ Conforme orçamento realizado no mês de setembro de 2011, via telefone, pelos autores do trabalho, para limpeza de piscina teste, duas vezes por semana. Estimado também valor para limpeza de piscina com 100 metros cúbicos.

1.2 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento de robôs que auxiliam na realização de tarefas, como, por exemplo, soldagem de automóveis, colheita de frutos no campo, auxílio em procedimentos médicos em hospitais, pode ser considerado como um grande avanço tecnológico. Segundo a IFR (*International Federation of Robotics*)(2012), o primeiro robô industrial foi desenvolvido por George Devol e Joseph Engelberger, em 1959 e foi chamado de “*Unimate*”.

Os robôs auxiliam de forma significativa seus usuários, reduzindo esforços empregados para executar uma determinada função, realizando atividades consideradas de alta periculosidade, reduzindo custos ou simplesmente aumentando a produtividade do processo.

É com a finalidade de reduzir os custos e esforços empregados no processo de limpeza que se propõe a construção do robô limpador de paredes de piscinas. Facilitar a atividade desgastante de limpeza e escovação das paredes das piscinas mantendo uma eficiência de limpeza, a um custo inferior ao da contratação de empresas terceirizadas, é a principal justificativa para o desenvolvimento deste protótipo.

Com este equipamento, as pessoas que possuem piscinas poderão optar entre a contratação de empresas especializadas em serviços de limpeza, com seus custos e a realização dessa atividade empregando-se menos esforço se comparado ao processo convencional, porém mantendo a qualidade e segurança do processo.

Devido à necessidade de apenas posicionar o robô corretamente à borda da piscina e ligar o equipamento para realizar a limpeza de uma de suas faces, o produto permitirá ao morador realizar outras atividades ou descansar, até que o robô finalize o processo. Depois de realizada a limpeza de uma parede, o equipamento necessitará apenas ser reposicionado para realizar a limpeza da próxima parede e assim sucessivamente, até ser completada a limpeza total da piscina.

Já no quesito técnico, este projeto engloba o estudo e a aplicação de conceitos das áreas de mecânica, eletrônica, programação e a integração entre elas, além de estudos de processos de fabricação e análise de custos para a solução do problema apresentado.

Foi necessária ainda a pesquisa de soluções para a isolação das partes que devem ser submersas e que estejam alimentadas à rede elétrica, assim como o estudo e desenvolvimento de um projeto capaz de se manter estável mesmo com a variação da resistência da água, devido à diferença de profundidade da piscina.

Outro fator motivador para o desenvolvimento deste protótipo é a possibilidade de comercialização um produto dele derivado. Tal produto poderia conquistar uma fatia do mercado de sistemas de limpeza para piscinas, fatia que no Brasil é explorada apenas por uma empresa. Mundialmente, foram localizadas apenas duas empresas que produzem um produto capaz de realizar a limpeza das paredes das piscinas (Sodramar e IRobot). A análise de viabilidade comercial do produto será realizada após a fabricação do protótipo.

Para validar a proposta inicial, foi desenvolvido um protótipo que realiza a limpeza de uma parede da piscina até uma profundidade máxima de 0,80 m, que servirá como base para a realização do estudo de viabilidade financeira, exequibilidade e eficiência do mecanismo.

1.3 OBJETIVOS

Para a execução do trabalho foram definidos o objetivo geral e os objetivos específicos. Além desses objetivos, buscou-se a integração dos conhecimentos adquiridos durante o curso, assim como sua aplicação prática, a fim de realizar um produto com qualidade e baixo custo, além de alta confiabilidade.

1.3.1 Objetivo geral

Desenvolver o protótipo de um robô capaz de realizar a limpeza de paredes de piscinas de diversos tamanhos e modelos.

1.3.2 Objetivos específicos

- Desenvolver as peças para os mecanismos necessários para a movimentação do equipamento;
- Desenvolver o *hardware* da eletrônica embarcada para o controle do equipamento;
- Desenvolver o *firmware* da eletrônica embarcada para o controle do equipamento;
- Analisar os melhores sensores a serem utilizados para o auxílio do controle do equipamento;
- Prever o maior número de adversidades que o equipamento pode enfrentar no campo;
- Traçar estratégias de contorno para as adversidades encontradas;
- Especificar os materiais utilizados no protótipo;
- Realizar a análise de custos para a montagem do protótipo;
- Realizar uma estimativa de custo de fabricação para o produto;
- Montar um protótipo funcional.

1.4 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Para a fabricação do protótipo do robô limpador de parede de piscina, foram utilizados conhecimento e métodos aprendidos durante o curso realizado pelos integrantes da equipe desenvolvedora. Dentre eles, destacam-se:

- Elaboração de croqui do projeto;
- Utilização do maior número de itens comerciais para serem utilizados no protótipo;
- Desenvolvimento de desenhos de fabricação para itens mecânicos não comerciais com o auxílio de *software* de modelagem 3D;
- Seleção de fornecedores para a fabricação de itens mecânicos;
- Desenvolvimento do esquemático do *hardware* do sistema de controle com auxílio de *software* específico;
- Fabricação das placas de circuito impresso;
- Desenvolvimento do *firmware* embarcado em plataforma específica utilizando linguagem “C”;
- Montagem e testes;
- Aplicação de conceitos de PDCA e *Brainstorm* para melhorias e soluções de eventuais problemas no projeto;
- Aplicação do conhecimento adquirido em custos industriais para a análise de custo do produto;

O sistema foi testado em uma única piscina, disponibilizada por um dos autores do trabalho, visando a aplicação das reais condições de uso a que seria submetido o produto. Este trabalho foi de extrema importância para a validação do conceito do produto, assim como para ajustes que garantiram que a limpeza estava sendo feita com eficiência.

Quanto à relação do custo do produto, será realizado um trabalho posterior à entrega deste, a fim de reduzir o mesmo, aumentando o seu potencial comercial.

O trabalho de redução de custos será fundamentado através dos resultados e conclusões obtidos com os testes do protótipo, verificando a

necessidade de desenvolver novos fornecedores, utilizar novos materiais, ou aplicar novas tecnologias e conceitos, visando aumentar a vida útil, segurança e qualidade do produto.

Definimos como potencialmente viável o produto caso o ponto de equilíbrio, após comparados os custos com o sistema tradicional de limpeza e o processo automatizado, seja inferior a 2 anos.

2.0 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A automação residencial originou-se da ampliação da automação industrial no ambiente domiciliar, por algumas empresas de tecnologia. Essas empresas precisaram verificar as peculiaridades desse novo setor, que exige equipamentos com acabamento superior e interfaces mais “amigáveis”, se comparado ao setor industrial (BORTOLUZZI, 2013).

O foco da automação residencial é auxiliar ou realizar serviços domésticos que até então exigiam algum esforço de um ser humano. Dentre esses serviços, destaca-se o processo de varrer e aspirar a casa, assim como realizar a limpeza de piscina.

2.1 PROCESSO AUTOMATIZADO DE LIMPEZA – ASPIRADOR DE PÓ (ROOMBA)

Segundo Layton (2005), estão disponíveis no mercado vários modelos de robôs, de diversos fabricantes, capazes de realizar a limpeza residencial (Figuras 2 e 3). Certos modelos podem realizar algumas tarefas automaticamente, como, por exemplo, iniciar o ciclo de limpeza no dia e horário programados, retornar automaticamente para a base para recarregar a bateria e em seguida continuar a limpeza de onde parou, limpar o cesto de coleta de sujeira e até mesmo realizar o mapeamento do cômodo e definir a melhor trajetória a seguir. Alguns robôs menos sofisticados podem seguir trajetórias aleatórias, em espiral, ou em “Z”.

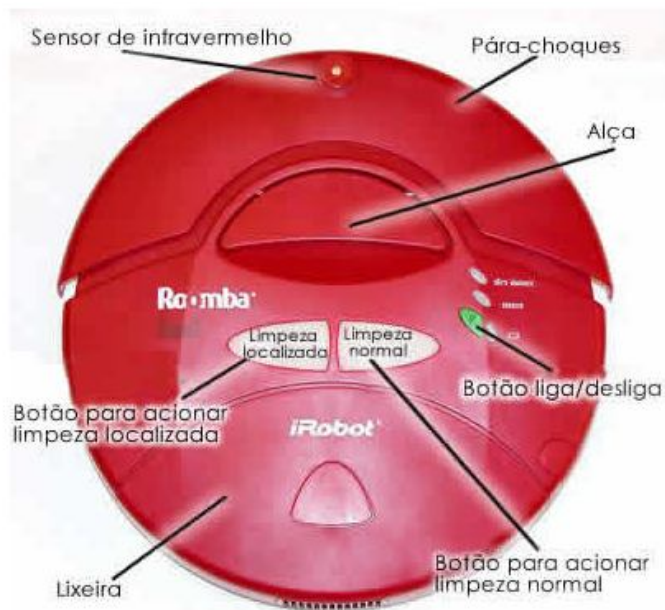


Figura 2 - Vista superior do robô aspirador Roomba Red da iRobot.
Fonte: Layton (2005).

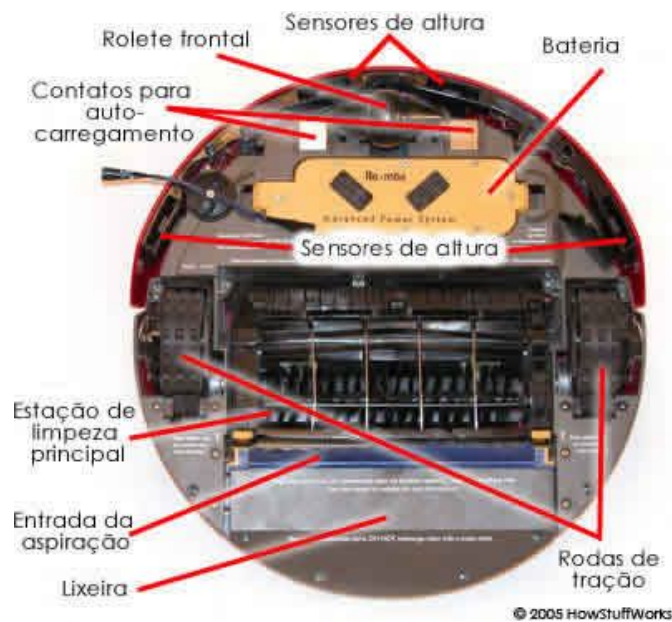


Figura 3 - Vista inferior do robô aspirador Roomba Red da iRobot.
Fonte: Layton (2005).

O Roomba Red é equipado com uma bateria recarregável de NiMH, que pode ser carregada em três a sete horas, dependendo do modelo. O Roomba Red possui autonomia de cerca de duas horas e precisa ser recarregado com o

auxílio de pessoas (modelo mais simples). Para os novos robôs da *IRobot*, existe uma base para recarregamento automático da bateria.

O sistema de movimentação consiste principalmente de duas rodas de tração acionadas cada uma por um motor. Por serem independentes, é pela mudança na velocidade das rodas que é realizada a mudança de direção. São ao todo cinco motores: dois para a movimentação (Figura 4), um para realizar a aspiração, outro para a escova lateral giratória e um para o conjunto agitador (LAYTON, 2005).

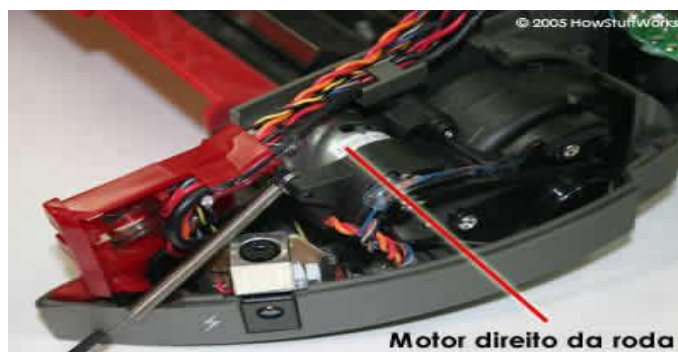


Figura 4 -Motor da roda direita de tração do robô Roomba da Irobot.
Fonte: Layton (2005).

O sistema de navegação do Roomba é o *AWARE™* da *IRobot*. O sistema usa sensores que captam dados do ambiente e os enviam para o microprocessador que os interpreta e determina a ação do robô. O robô pode se adaptar a novas situações até 67 vezes por segundo (LAYTON, 2005). Os sensores estão identificados na Figura 5.



Figura 5 - Detalhe dos sensores superiores.
Fonte: Layton (2005).

Para evitar que o equipamento caia de, por exemplo, degraus de escadas, sensores infravermelhos (Figura 6) são usados como sensores de altura. Os sensores enviam um sinal infravermelho e caso o tempo de retorno do sinal seja maior do que o normal, o sistema estima que há possibilidade de ocorrer a queda, então o microprocessador redireciona o robô até encontrar uma trajetória segura (LAYTON, 2005).

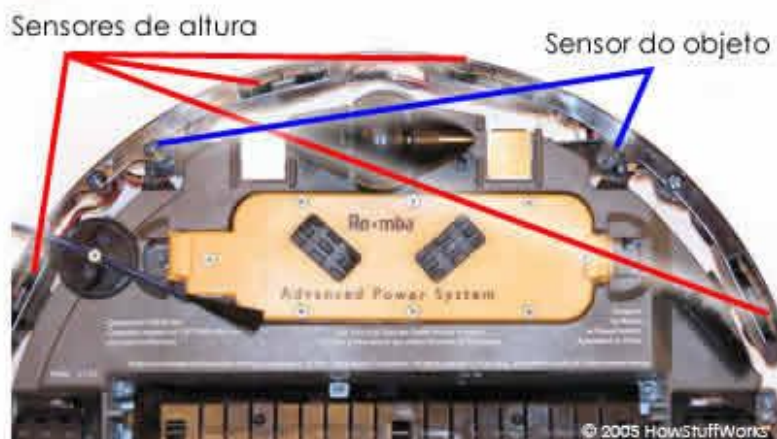


Figura 6 - Detalhe dos sensores inferiores.
Fonte: Layton (2005).

O sistema possui ainda sensores de objetos (Figura 6) que são acionados caso o seu para-choque encoste em algum obstáculo, fazendo assim com que o microprocessador identifique sua existência e redirecione o robô.

Existe também outro sensor infravermelho posicionado à direita do Roomba, para medir a distância entre o robô e obstáculos como móveis e paredes, possibilitando assim que o produto faça a limpeza rente a esses obstáculos evitando colisões (LAYTON, 2005).

2.2 SISTEMA DE LIMPEZA (ROOMBA)

O Roomba possui um sistema de escovas para realizar a limpeza do ambiente. Ele possui uma escova giratória lateral, posicionada ao lado direito do robô que joga a sujeira para o centro do produto para que ela seja aspirada. Essa escova permite que o sistema limpe, por exemplo, áreas próximas às paredes

Existe também o agitador, que possui um conjunto de duas escovas girando em sentido contrário para jogar a sujeira para o cesto do sistema. Por fim, existe a escova auxiliar lateral que empurra a sujeira para o sistema de aspiração. Os detalhes do conjunto de escovas são apresentados Figura 7 (LAYTON, 2005).

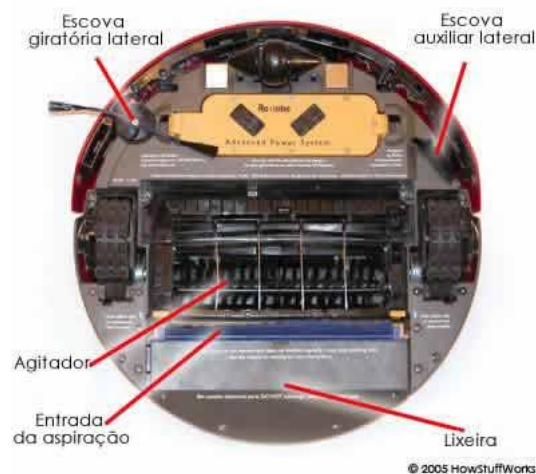


Figura 7 - Destaque sistema de limpeza robô Roomba da Irobot.
Fonte: Layton (2005).

2.3 PROCESSO DE LIMPEZA COMUM DE PISCINA

Segundo Harris (2002), a maior parte das piscinas passa por um processo de limpeza similar, constituído basicamente pela filtragem, tratamento químico da água e tratamento físico.

Os principais componentes da piscina são: bacia, bomba motorizada, filtro de água, alimentador químico, drenos, retornos e conectores de PVC (Figura 8). O sistema funciona drenando água da piscina, passando-a pelos filtros e devolvendo a tratada para a piscina.

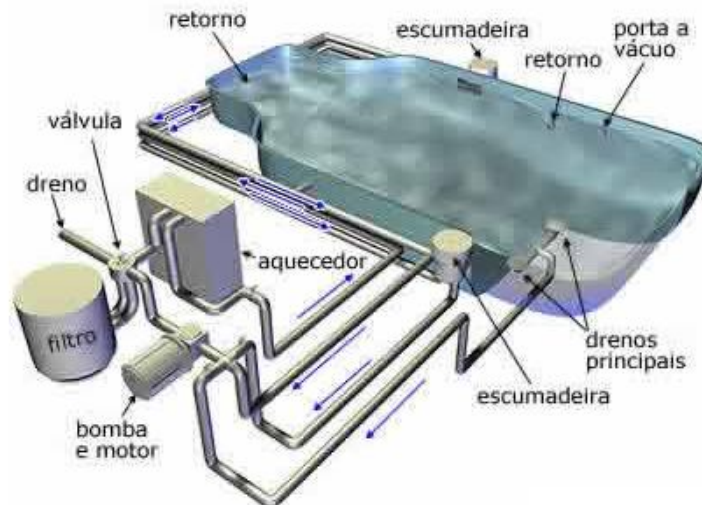


Figura 8 -Componentes principais de uma piscina.
Fonte: Harris (2002).

Os drenos principais geralmente estão localizados no fundo da piscina e, em casos de piscinas com desnível, na sua parte mais profunda, para que a sujeira que afunda possa ser retirada por ele. As escumadeiras realizam a drenagem da piscina na linha d'água para que a sujeira que flutua seja filtrada adequadamente (HARRIS, 2002).

Para destruir microorganismos e bactérias nocivas à saúde, além de evitar a proliferação de algas, deve-se realizar também o controle químico da água. Os elementos mais utilizados para realizá-lo são o cloro, algicidas e clarificantes (MEGAPISCINAS, 2011).

Outro fator importante na limpeza de uma piscina é o controle do ph, ou seja, da acidez ou basicidade da água. O valor de ph para a água da piscina deve ficar entre 7,2 e 7,6 (Figura 9) (MEGAPISCINAS, 2011).



- Para medir, utilize um kit de teste por tiras ou reagentes no mínimo duas vezes por semana
- Se o PH estiver acima de 7,6 (básico), utilizar Redutor de PH
- Se o PH estiver abaixo de 7,0 (ácido) utilizar Elevador de PH.

Figura 9 - Ph ideal para piscinas.
Fonte: Megapiscinas (2011).

O tratamento físico também é fundamental para a boa condição da piscina. Destaca-se neste tratamento o processo de escovação de paredes e fundo da piscina. Essa atividade é importante, pois permite que o cloro utilizado no tratamento químico atinja com eficiência as algas e bactérias. A escovação deve ser realizada no mínimo uma vez por semana (SISTEMA MANUTENÇÕES, 2009).

Para executar tal atividade, utilizam-se escovas ou “escovões” de cerdas de nylon ou aço inox, conforme figuras 10 e 11.



Figura 10 - Escova de cerdas de nylon.
Fonte: Sistema manutenções (2009).



Figura 11 – Escova de cerdas de inox.
Fonte: Azupi (2014).

O processo de escovação é demorado e pode ser considerado como aquele que exige maior esforço físico por parte do executor. O processo consiste em esfregar a escova ou “escovão”, que é fixada geralmente em um tubo de alumínio, em movimentos repetitivos de “vai e volta” e em toda a extensão da parede e fundo da piscina. Esse processo deve ser mais cuidadoso em piscinas que utilizem rejunte.

Existem empresas especializadas em serviços de limpeza de piscina residencial, realizando os tratamentos químicos e físicos relatados anteriormente. Os custos para contratar tais empresas, porém, são significativos, variando de R\$ 400,00 (quatrocentos reais) à R\$ 700,00 (setecentos reais) por mês², dependendo do tamanho da piscina e do número de limpezas por semana. Esse valor é ainda maior para piscinas em clubes e faculdades, devido à complexidade do processo em piscinas com maior profundidade e extensão.

2.4 PROCESSOS AUTOMATIZADOS DE LIMPEZA DE PISCINA

Após uma pesquisa de mercado superficial, não foram localizados fabricantes nacionais de robôs para limpeza de piscinas (existem apenas distribuidores). Foram identificados dois modelos de robôs para limpeza de piscina fabricados pela *IRobot*, uma das maiores neste setor, e pela *Polaris*, que possui produto distribuído no Brasil pela empresa Sodramar.

2.5 POLARIS 9300 SPORT

A Sodramar possui linha própria de produtos, mas também revende o robô para limpeza de piscinas chamado “9300 Sport”, do fabricante *Polaris* (Figura 12).



Figura 12 – Polaris 9300 Sport.
Fonte: Sodramar (2013).

² Conforme orçamento realizado no mês de setembro de 2011, via telefone, pelos autores do trabalho, para limpeza de piscina teste, duas vezes por semana. Estimado também valor para limpeza de piscina com 100 metros cúbicos.

O robô é capaz de realizar a limpeza de piscinas aspirando e escovando os locais por onde passa, podendo subir degraus e paredes. Este robô funciona totalmente submerso, armazenando dentro de um filtro interno toda a sujeira aspirada no processo.

Depois de submerso, o usuário deve selecionar qual ciclo será utilizado por meio de uma central que fica montada e permanece fora da água (ciclo 01 – 1,5 horas ou ciclo 02 – 2,5 horas). Depois de selecionado o ciclo, o robô inicia o processo randômico de limpeza durante o período definido. Finalizado o processo de limpeza, deve-se retirar o robô de dentro da piscina, remover e limpar o filtro (Figura 13) e em seguida guardar o produto.



Figura 13 - Filtro de limpeza do robô “9300 Sport”.
Fonte: Sodramar (2013).

Além da limitação na capacidade de armazenamento do filtro e do fato do processo ser randômico, esse produto não pode ser utilizado em piscinas com comprimento superior a 12 m e em piscinas de determinados tipos de vinil. Destaca-se como fator positivo a capacidade de limpeza de diferentes locais da piscina, como, por exemplo, as paredes, degraus e o piso. O custo aproximado do produto nos Estados Unidos é de U\$ 1.300,00.

2.6 IROBOT MIRRA

O robô *Mirra* da *IRobot* possui funcionamento similar ao do 9300 *SPORT*. Esse robô também possui a capacidade de subir degraus ou paredes, escovando e armazenando a sujeira dentro do filtro interno, que neste caso é duplo (Figura 14).



Figura 14 - Filtros do robô Mirra.
Fonte: IRobot (2013)

O produto da *IRobot* possui um sensor que o diferencia do 9300 *SPORT*. O *Mirra* detecta quando e em que direção ele realizou o processo de limpeza e então muda de direção quando necessário para evitar que o cabo se enrole sozinho (IROBOT, 2013).

Em relação à escova utilizada no robô, o fabricante indica que o material é de PVC e também auxilia no processo de limpeza realizando a agitação da água levantando sujeiras e algas do chão e das paredes da piscina (Figura 15). O custo aproximado do produto é de U\$ 1.300,00.



Figura 15 - Escovas do robô Mirra da IRobot.
Fonte: Irobot (2013).

3.0 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Com o intuito de desenvolver o protótipo do robô limpador de paredes de piscina (RLPP) foram desenvolvidas separadamente a mecânica, elétrica e eletrônica, que foram integradas para que o conceito do robô fosse testado.

Para realizar o processo de limpeza, o protótipo possui um sistema de escova giratória acoplado ao sistema de elevação, responsável pelos movimentos verticais da escova, possibilitando assim a limpeza em toda a altura da piscina.

O movimento para elevação da escova é possível graças ao cabo de aço fixado na parte inferior da escova que é enrolado por um carretel acoplado a um motor DC (enrolador), que pode ser acionado em ambos os sentidos, permitindo a subida e descida da escova.

Para realizar o movimento horizontal, o protótipo possui um sistema de tração composto por dois motores DC, acoplados às rodas. A amplitude do movimento é pré-determinada no *firmware* (tempo fixo de deslocamento). O *firmware* também monitora constantemente a distância do robô até a borda da piscina.

A correção da rota durante a movimentação horizontal do robô é realizada com base nos dados fornecidos por um potenciômetro, denominado sensor de posicionamento. As mudanças de resistência indicam a tendência de sua atual rota. Com a implantação desse sistema de correção da rota, foi possível ampliar a utilização do robô para piscinas com formatos arredondados com raio superior a 1,5 m, que não estava prevista na proposta inicial.

Para informar que o ciclo está concluído, existe um batente fim de curso, que quando atuado, aciona um *buzzer* e informa ao *firmware* que o ciclo naquela face da parede está concluído, aguardando um reposicionamento do robô para outra face.

Para realizar a filtragem dos detritos escovados, existe um sifão sanfonado, que é fixado na escova. Esse sifão direciona os detritos ao sistema de filtragem da piscina, através de uma mangueira acoplada a ambos os sistemas. Após realizar a filtragem, a própria bomba do sistema devolve a água limpa para a piscina.

3.1 MECÂNICA

Em referência a parte mecânica, foi utilizado o *software* de modelagem 3D (*SolidWorks*) para auxiliar no desenvolvimento das peças para montagem do protótipo (Figura 16).

Todas as peças mecânicas projetadas em aço carbono 1020 foram enviadas a fornecedores para confecção, assim como as desenvolvidas em *nylon*. Já as peças desenvolvidas em policarbonato foram produzidas pela própria equipe.

Tentou-se utilizar também o maior número possível de itens comerciais, visando assim à redução de custos.

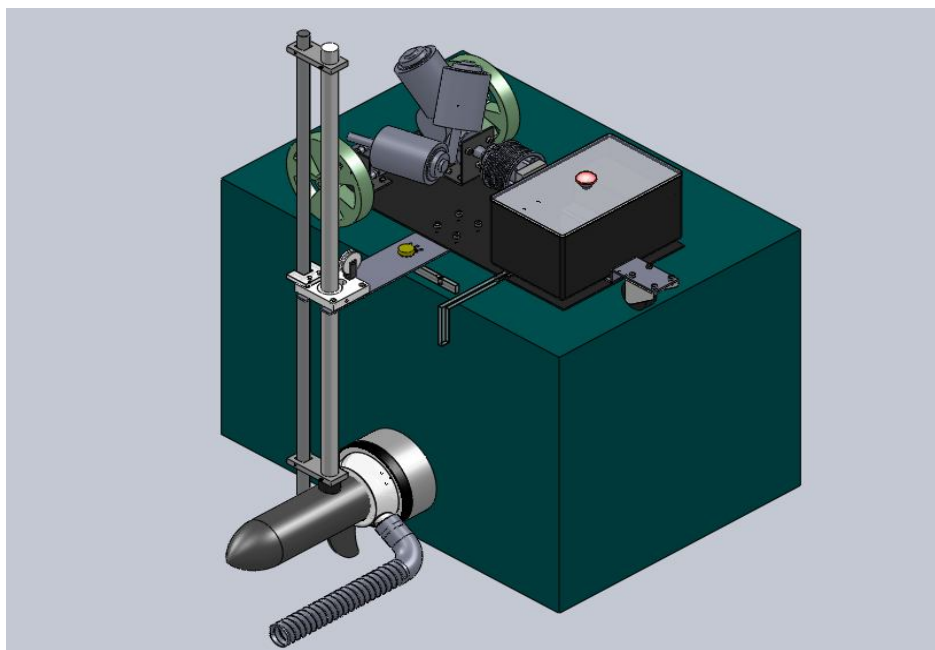


Figura 16 - Vista isométrica do projeto em 3D.
Fonte: Autoria própria

O projeto mecânico foi dividido em cinco partes:

- 1- Base mecânica;
- 2- Elevação;
- 3- Escova;
- 4- Tração;
- 5- Rodízio;

3.1.1 Base mecânica

Todo o protótipo foi desenvolvido a partir de uma base metálica (SAE 1020) (Figura 17), responsável pela sustentação das partes elétrica e eletrônica, assim como por permitir a interligação com a base lateral (Figura 18) do projeto.

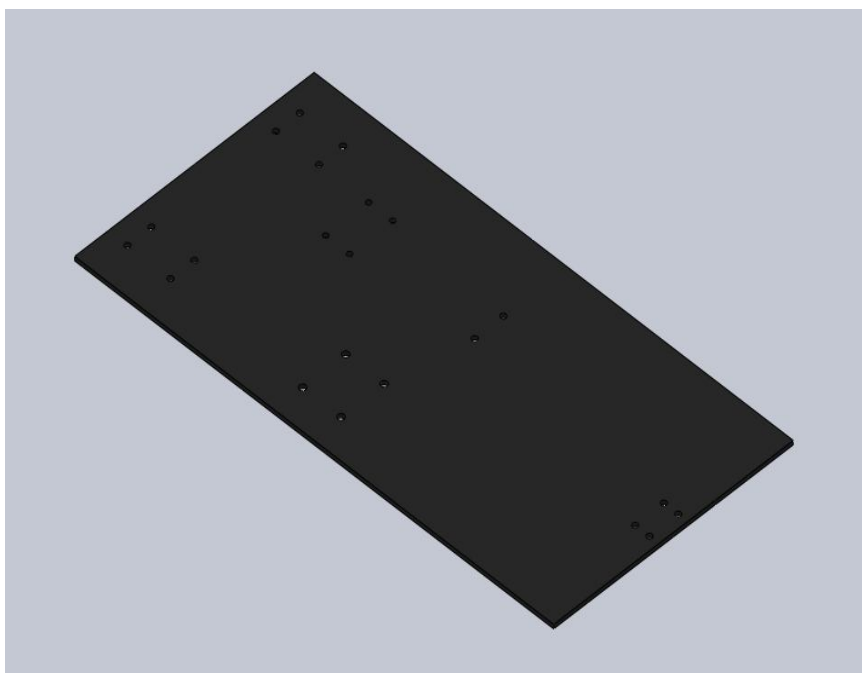


Figura 17 - Base dos componentes.
Fonte: Autoria própria.

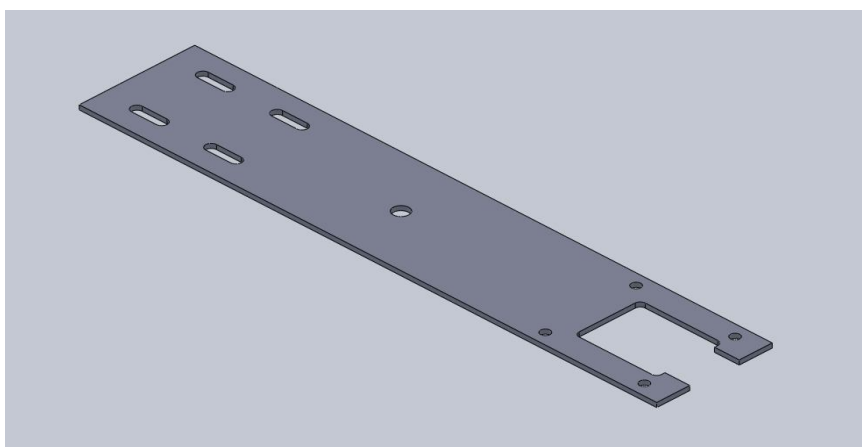


Figura 18 - Base lateral.
Fonte: Autoria própria.

Na base dos componentes, foram fixados os motores de tração e elevação, o rodízio frontal e a base lateral, além da caixa eletrônica de comando. Já na base lateral, foi fixado o sensor de posicionamento do protótipo e a polia para interligação do cabo de aço do enrolador com a escova.

3.1.1.1 Base lateral – itens fixados

Na base lateral foram fixados dois itens que necessitam de destaque: o sensor de posicionamento e a polia do cabo de aço.

Sensor de posicionamento: Composto de quatro itens: potenciômetro, suporte do sensor de posicionamento, batente (parafuso) e mola de tração. Permite que o microcontrolador corrija a posição do robô nas curvas, dentro das limitações de raio 1,5 m. (Figuras 19 e 20). O sensor de posicionamento funciona com base na variação de resistência no potenciômetro, que por sua vez, varia conforme o batente que é tracionado pela mola. O batente segue a borda da piscina, o que possibilita que o robô corrija a posição em curvas,.

Polia do cabo de aço: Possibilita a transferência do movimento do cabo de aço do enrolador para subir e descer o motor de escovação (Figura 20).

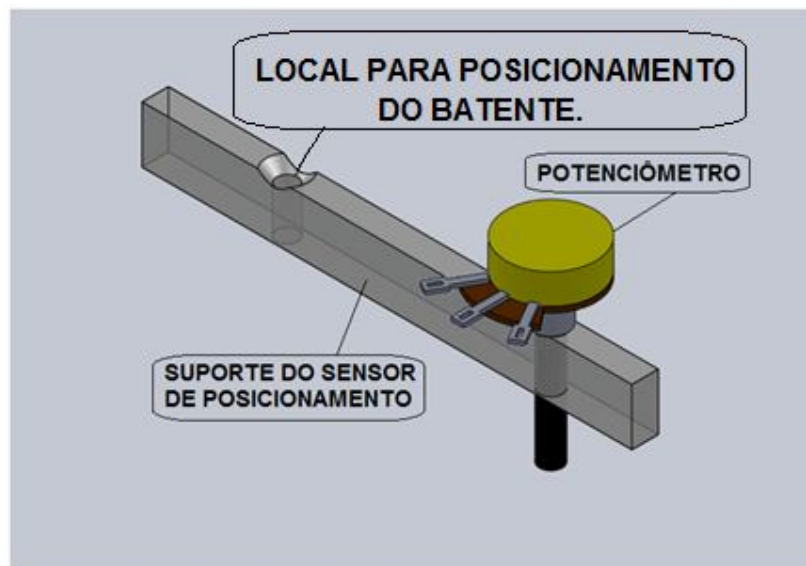


Figura 19 - Sensor de posicionamento.
Fonte: Autoria própria.

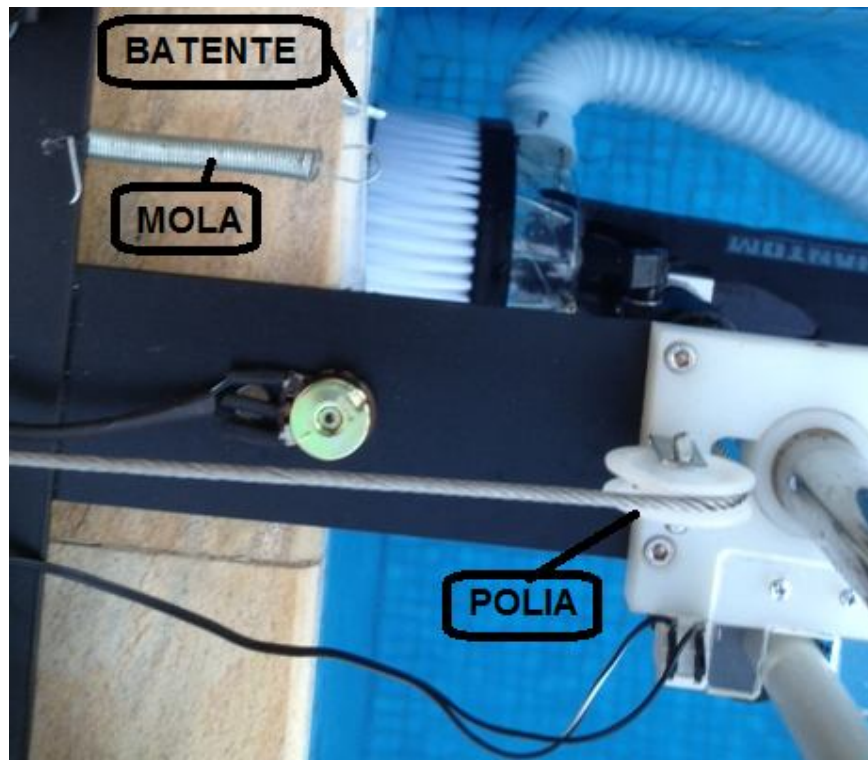


Figura 20 - Itens do sensor de posicionamento.
Fonte: Autoria própria.

3.1.2 Elevação

O sistema de elevação da escova (Figuras 21 e 22) é basicamente composto pelas seguintes peças:

Motor DC 12V: Gira o eixo de alumínio para rotacionar o enrolador de cabo de aço (Figura 21). Foi utilizada uma peça comercial.

Enrolador de cabo de aço: Acomoda o cabo de aço inox (1/8") que é fixado no sistema de escova, possibilitando assim a subida e descida do conjunto para escovar (Figura 21). Foi utilizada uma peça comercial.

Mancal com rolamento: Provê suporte ao eixo de alumínio com a bucha de *nylon* (Figura 22). Peça mecânica desenvolvida e fabricada externamente e rolamento comercial (referência SNR6002).

Chapa do suporte do motor: Fixada na base dos componentes, fixa o motor DC (Figura 21). Peça mecânica desenvolvida e fabricada externamente.

Eixo de alumínio: Fixado no eixo do motor DC, apoia o enrolador do cabo de aço, além de realizar a rotação do mesmo (Figura 22). Peça mecânica desenvolvida e fabricada externamente.

Bucha de Nylon: Isolar o motor DC, evitando que ocorra curto-circuito com os demais itens elétricos montados (Figura 22).

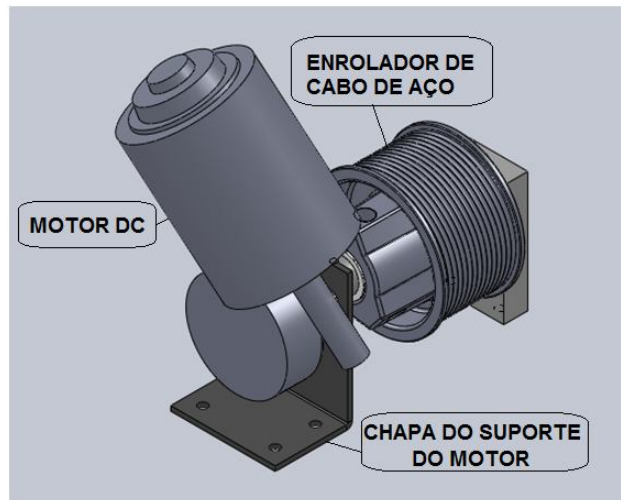


Figura 21 - Sistema de elevação.
Fonte: Autoria própria.

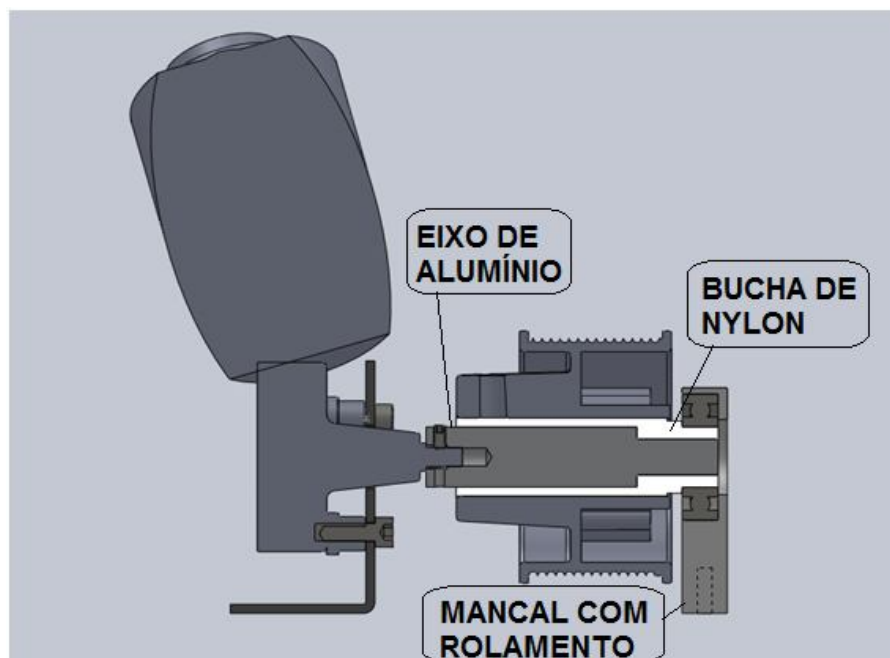


Figura 22 - Vista em corte do sistema de elevação.
Fonte: Autoria própria.

3.1.3 Escova

O sistema da escova (Figuras 23 e 24) é composto por quatro subconjuntos.

Motor da escova: É um motor de barco adaptado com uma escova com cerdas de *nylon* em sua extremidade (Figura 23). Esse motor será detalhado no item 2.2.1.

Mancal de Nylon e guia de policarbonato: Direciona e mantém o eixo do motor da escova na posição vertical durante a operação do produto. A guia de policarbonato também é utilizada para fixação do sensor de fim de curso que indica o limite superior da piscina (Figura 23).

Sifão sanfonado: Coleta a água durante o processo de limpeza da piscina. Possui buchas para fixação na escova e para a emenda com a mangueira da piscina responsável por transportar a água até o filtro (Figura 23).

Escova: Adaptação de uma escova giratória PWA003 – Black&Decker, com cerdas de *nylon*. Realiza o processo de limpeza da parede da piscina pelo movimento de rotação, gerado pelo motor da escova (Figura 23).

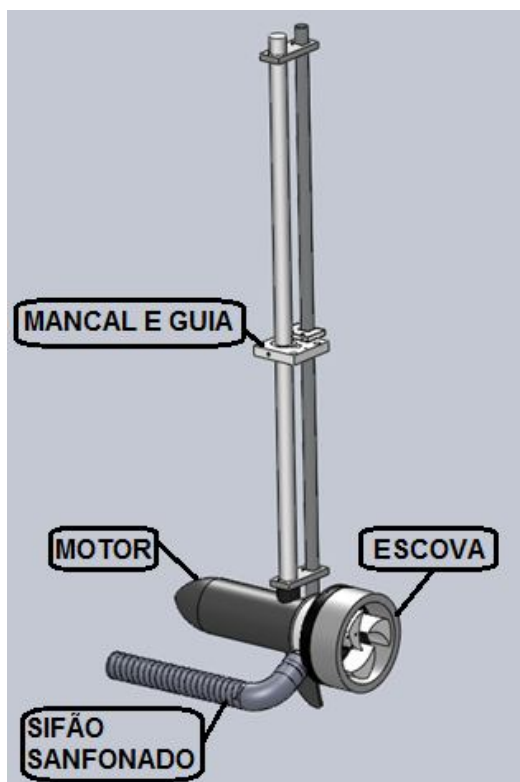


Figura 23 - Sistema da escova.
Fonte: Autoria própria.

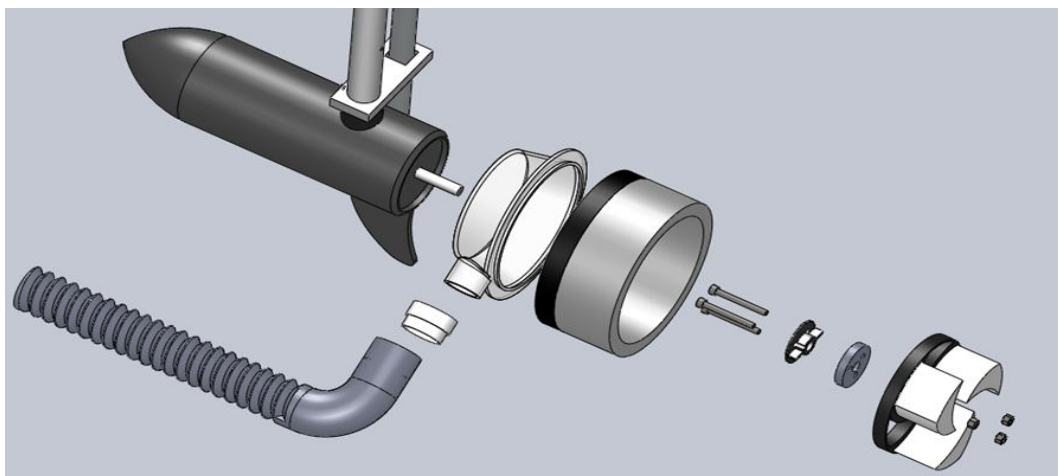


Figura 24 - Sistema da escova – vista explodida.
Fonte: Autoria própria.

3.1.4 Tração

O deslocamento do robô é realizado pelo seu sistema de tração (Figura 25), composto por:

Motores DC: Dois motores DC, responsáveis por realizar a movimentação do produto acionando as rodas a eles acopladas.

Rodas: Rodas de plástico adaptadas, fixadas aos eixos dos motores DC com cola bi-componente e parafuso “mosca”.

Mancal: Chapa metálica em aço carbono 1020, pintada de preto, que fixa o motor na base dos componentes.

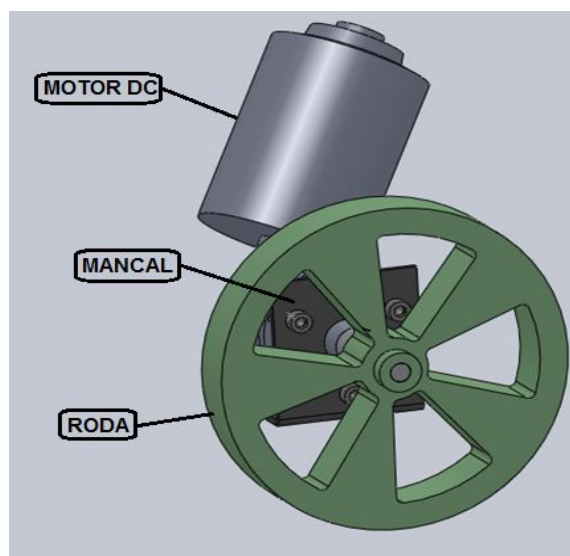


Figura 25 - Sistema de tração.
Fonte: Autoria própria.

3.1.5 Rodízio

Na parte frontal do protótipo, está fixado o rodízio, que auxilia na movimentação do robô. Esse rodízio não possui motor acoplado, movendo-se de acordo com a atuação dos motores de tração (parte traseira do produto).

Ele é dividido em dois itens principais:

Rodízio: Foi utilizada uma peça comercial.

Chapa de fixação: Chapa metálica em aço carbono 1020, pintada de preto que fixa o rodízio na base de componentes.

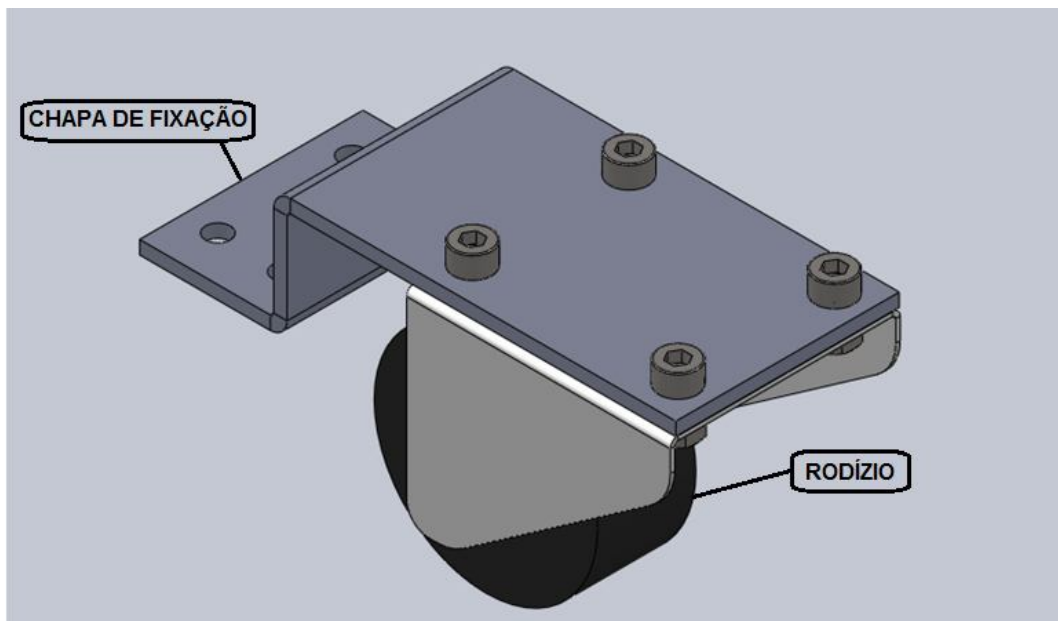


Figura 26 - Rodízio.
Fonte: Autoria própria.

3.2 ELÉTRICA

Para a alimentação elétrica do robô foram utilizadas duas fontes: a rede elétrica (127 V – 60 Hz) e bateria de 12 V.

A alimentação dos componentes da placa de comando foi realizada utilizando-se uma fonte comercial de 127V AC para 5V DC, permitindo assim o correto funcionamento da placa.

A bateria de 12 V DC é utilizada para realizar a alimentação dos motores elétricos DC. Os motores DC foram assim nomeados:

- Motor Subida / Descida da Escova;
- Motor roda direita;
- Motor roda esquerda;
- Motor da escova.

O sistema possui um botão de emergência, que quando acionado bloqueia a alimentação da bateria de 12 V por meio de um relé instalado na caixa de comando, evitando assim que qualquer motor possa ser acionado, garantindo a segurança do processo.

Para ligar e desligar o sistema, foi instalado um interruptor duplo na caixa de comando que corta as duas fontes de alimentação do robô.

3.2.1 Motor DC

O robô possui quatro motores DC responsáveis por realizar a movimentação do robô na borda da piscina e o processo de escovação. Foram utilizados motores DC devido à facilidade de seu uso e baixo custo, além do fato da equipe ter experiência com esses motores.

Pode-se destacar a utilização de um motor DC de barco para operar submerso e realizar a escovação (motor da escova). Foi adquirido um motor elétrico do fabricante Phantom, com potência de aproximadamente 1.1HP e adaptada uma escova comercial no eixo do motor (Figura 27).



Figura 27 - Motor dc – motor da escova.
Fonte:Ti Yamaha (2013).

3.3 ELETRÔNICA

A seguir, serão detalhadas as informações referentes ao *Hardware* e *Software* do projeto do RLPP.

3.3.1. Programação

Para o desenvolvimento e compilação do *firmware* gravado no microcontrolador foi utilizado o programa PCW (versão gratuita) da *Custom Computer Service Inc* (CCS) (Figura 28).

A gravação foi realizada utilizando o gravador ICD-U40 (Figura 29), também da CCS e o programa de gravação ICD que acompanha o gravador (Figura 30).

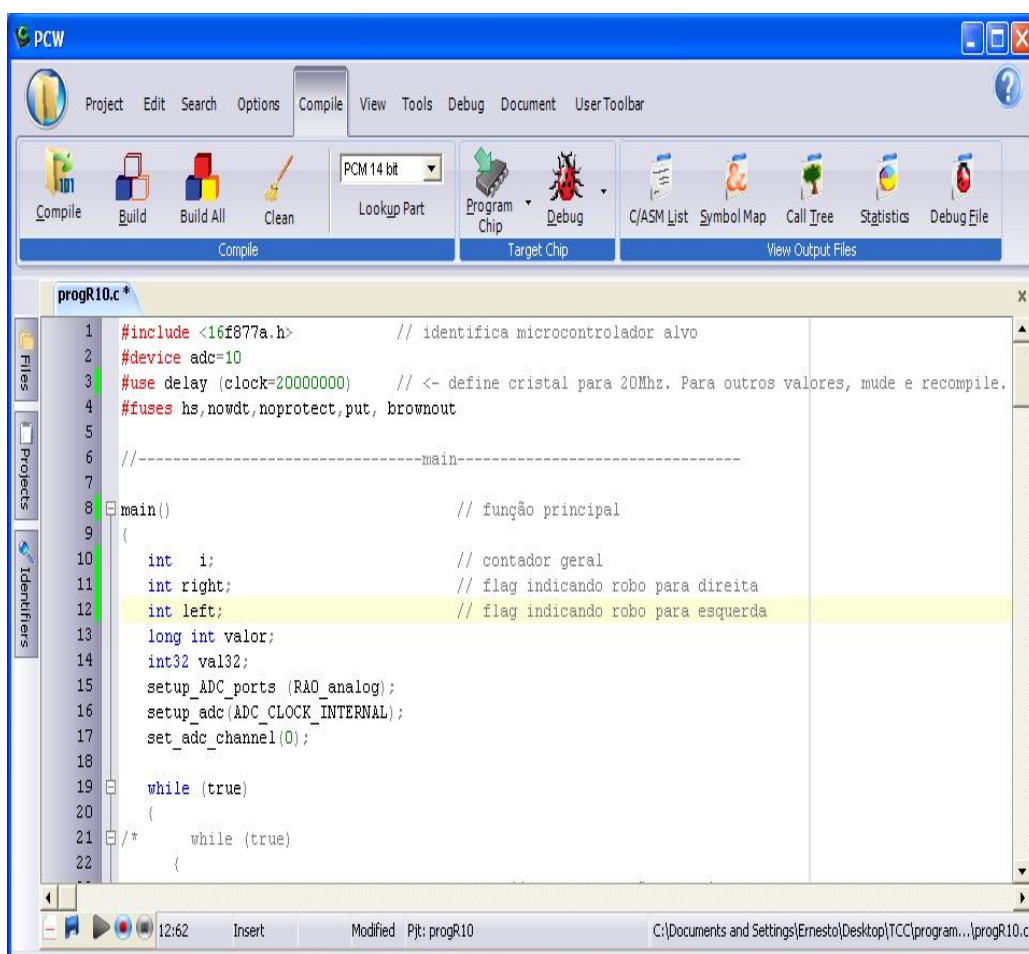


Figura 28 - Ambiente de programação do pcw.
Fonte: Autoria própria.



Figura 29: Hardware de programação ICD-U40.
Fonte: Media Digikey (2013).

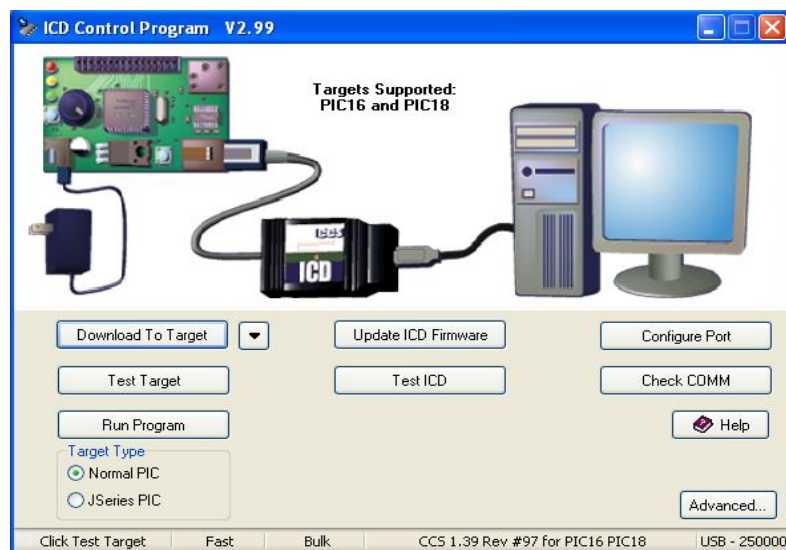


Figura 30 - Software de programação ICD.
Fonte: Autoria própria.

3.3.2 Firmware

O *firmware* implementado pode ser representado pelo fluxograma da Figura 31:

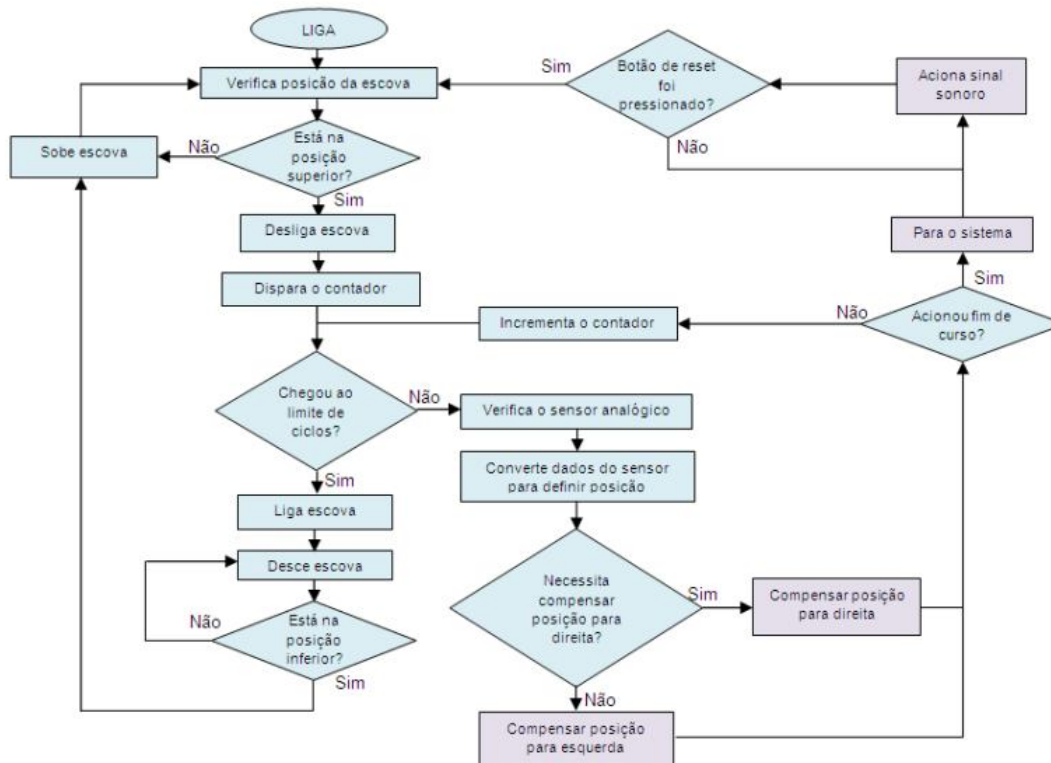


Figura 31 - Fluxograma da lógica do *firmware*.
Fonte: Autoria própria.

As etapas descritas no fluxograma são implementadas da seguinte forma pelo programa:

Liga – ao se ligar o equipamento, as variáveis e portas necessárias são configuradas;

Verifica posição da escova – é realizada a leitura da porta na qual está ligado o circuito sensor de fim de curso do limite superior da escova de limpeza. Enquanto essa porta não é acionada, indicando que a escova não está elevada, é enviado um comando que acionam a elevação da mesma;

Sobe escova - é enviado um comando para as duas portas que são responsáveis pelo controle da movimentação da escova acionando a elevação da mesma;

Desliga escova - é retirado sinal de acionamento da porta que comanda o circuito que liga a escova de limpeza do equipamento;

Dispara contador - é ligado o contador de ciclos de movimentação do equipamento e verificado se chegou ao seu número de ciclos máximo;

Incrementa contador - é incrementado o contador de ciclos de movimentação do equipamento;

Verifica o sensor analógico – é realizada a leitura de uma porta analógica na qual está ligado o circuito de posicionamento do equipamento;

Converte dados do sensor para definir posição – converte a leitura da porta analógica na qual está ligado o circuito de posicionamento do equipamento, para verificar se o equipamento está mais voltado para a direita ou esquerda da borda da piscina;

Compensar posição para a direita – é enviada uma sequência de comandos para a porta de comando do motor da roda esquerda, movimentado o equipamento para a direita. É verificado também o sinal na porta do sensor de fim de curso que quando acionado faz com que o programa vá para o tratamento da rotina de parada;

Compensar posição para a esquerda – é enviada uma sequência de comandos para a porta de comando do motor da roda direita, movimentado o equipamento para a esquerda. É verificado também o sinal na porta do sensor de fim de curso que quando acionado faz com que o programa vá para o tratamento da rotina de parada;

Para o sistema – Retira o sinal das portas de comando dos motores de movimentação;

Aciona sinal sonoro – liga o sinal da porta no qual está ligado o *buzzer* pelo período de tempo estabelecido e depois verifica o estado da porta em que está ligado o botão de reset do equipamento. Estando sinal do botão de reset baixo é repetido o ciclo de ligar e desligar o *buzzer* até que haja o sinal alto no botão de reset;

Liga escova – é realizado o acionamento da porta que comanda o circuito que dispara a rotação da escova de limpeza do equipamento;

Desce escova – é enviado um comando para as duas portas que são responsáveis pelo controle da movimentação da escova, acionando a descida da mesma e é também realizada a leitura da porta na qual está ligado o circuito sensor de fim de curso do limite inferior da escova de limpeza. Enquanto essa

porta não é acionada, indicando que a escova não está no seu limite inferior, é enviado um comando que aciona a descida da mesma;

3.3.3 Desenvolvimento do *Hardware*

O *hardware* implementado segue o diagrama em blocos mostrado na figura 32:

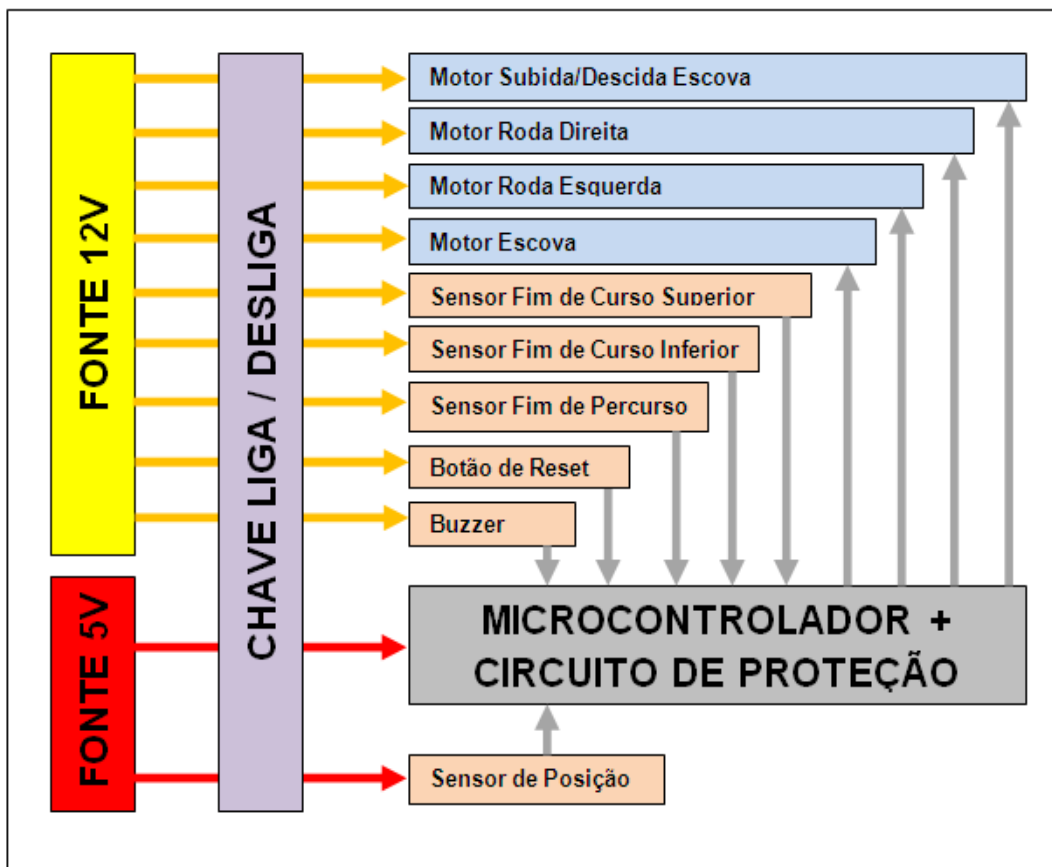


Figura 32 - Diagrama em blocos do *hardware*.
Fonte: Autoria própria.

Para o desenvolvimento do diagrama esquemático (Verificar anexo A) e da Placa de Circuito Impresso (PCI) foi utilizado, devido à relativa baixa complexidade da placa, o *software EAGLE* da *Cadsoft* em sua versão gratuita (Figuras 33 e 34).

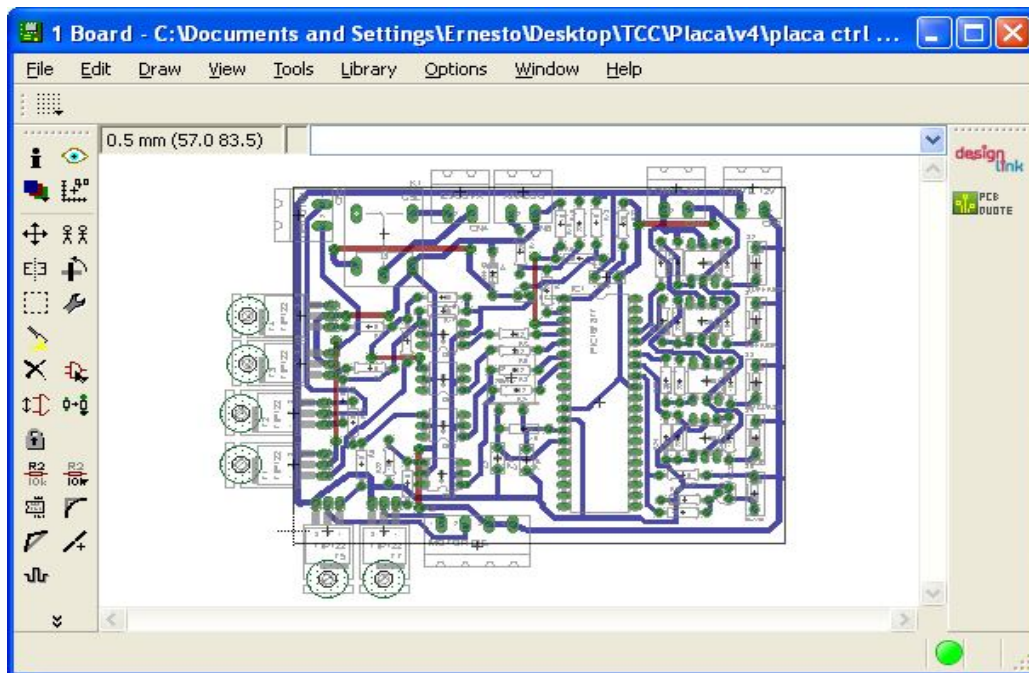


Figura 33 - Ambiente de desenvolvimento da pci.
Fonte: Autoria própria.

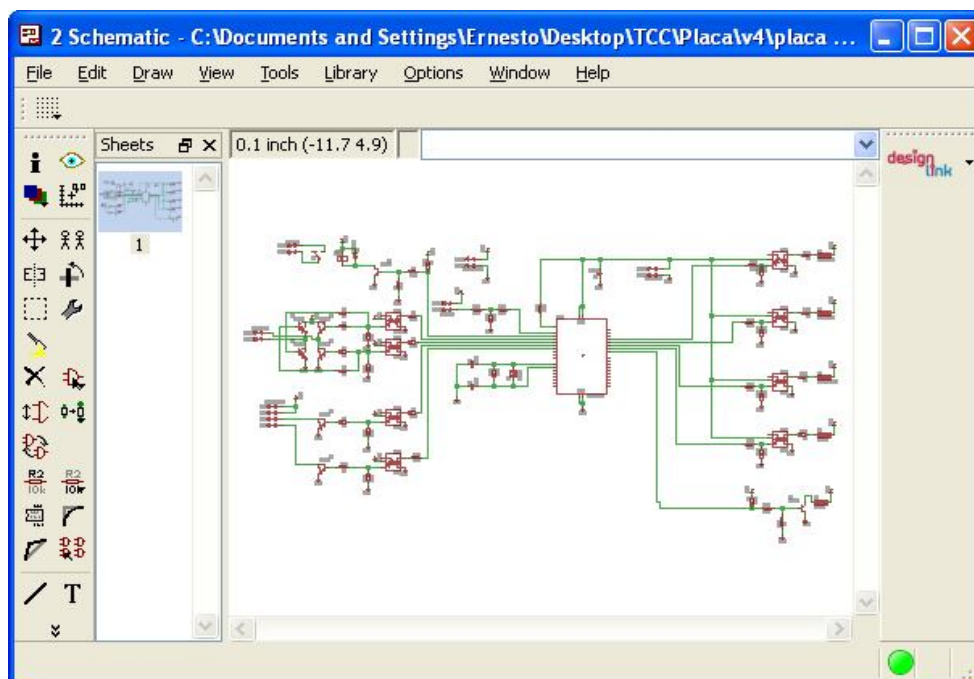


Figura 34 - Desenvolvimento do diagrama esquemático do hardware.
Fonte: Autoria própria.

O circuito do microcontrolador da Figura 35 apresentou a mesma configuração básica recomendada no manual (PEREIRA, 2003).

Foi utilizada uma de suas portas analógicas para a leitura de um potenciômetro que funciona como o sensor de posicionamento do robô. Para o acionamento dos motores e do *buzzer*, assim como as entradas dos sensores de fim de curso e do botão de *reset*, foram utilizadas as portas digitais do microcontrolador.

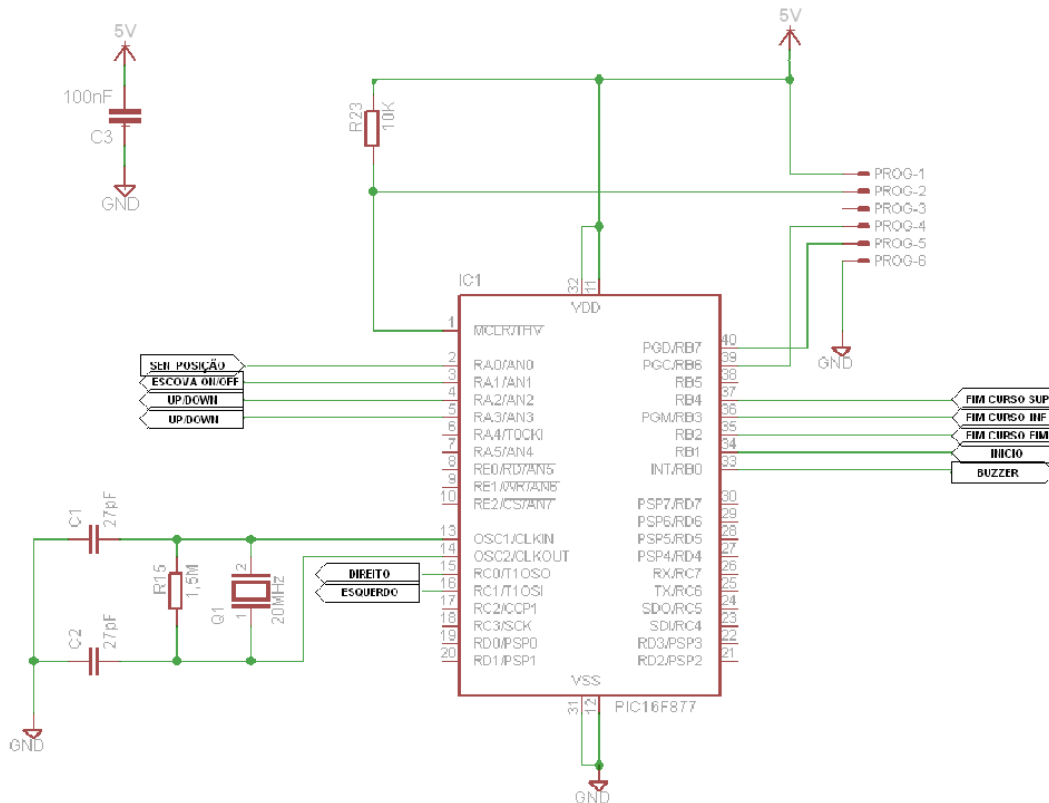


Figura 35 - Circuito do microcontrolador.
Fonte: Autoria própria.

No diagrama esquemático estão indicados os sinais para os circuitos dos sensores, botão, *buzzer* e acionamento dos motores, conforme descritos a seguir:

SEN_POSIÇÃO – entrada analógica do circuito de sensor de posicionamento do equipamento;

FIM CURSO SUP – entrada digital do circuito do sensor de fim de curso superior da escova de limpeza;

FIM CURSO INF – entrada digital do circuito do sensor de fim de curso inferior da escova de limpeza;

FIM CURSO FIM – entrada digital do circuito do sensor de fim de percurso do equipamento;

INICIO – entrada digital do circuito do botão de “reset”;

BUZZER – saída digital do circuito do indicador sonoro de fim de percurso;

ESCOVA ON/OFF – saída digital do circuito de acionamento da escova de limpeza, na qual o nível alto aciona a escova e o nível baixo a desativa;

UP/DOWN – saídas digitais que ligadas na ponte “H” do circuito responsável pela subida ou descida da escova de limpeza;

DIREITO – saída digital do circuito de acionamento do motor da roda direita do equipamento;

ESQUERDO – saída digital do circuito de acionamento do motor da roda esquerda do equipamento.

O circuito do sensor de posição (Figura 36) é na realidade um divisor de tensão no qual o potenciômetro “R11”, conforme a sua rotação, gera uma variação na tensão da entrada analógica do microcontrolador, que por sua vez realiza a leitura e o tratamento do sinal para definir o posicionamento do robô em relação à borda da piscina.

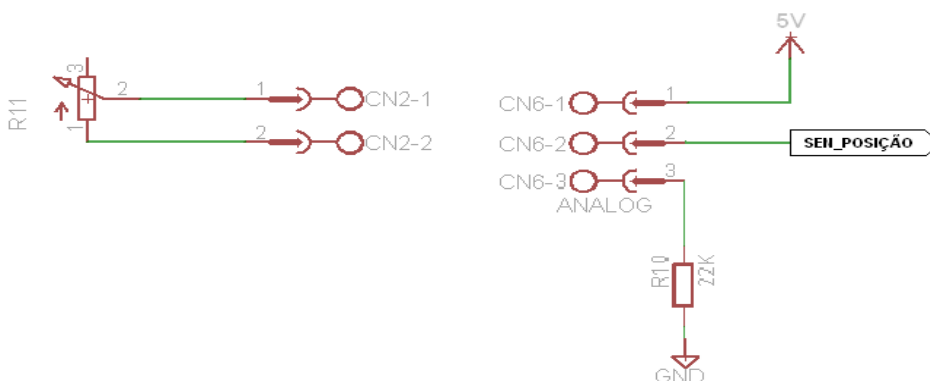


Figura 36 - Circuito do sensor de posição.
Fonte: Autoria própria.

O esquemático da Figura 37 ilustra o circuito utilizado para o sensor de fim de curso superior, que é idêntico ao do sensor de fim de curso inferior, de fim de percurso e ainda o do botão de “reset”. Desenvolveu-se o circuito com uma proteção, isolando-se o microcontrolador das chaves e botões com um optoacoplador. O fechamento da chave de fim de curso, ou o botão de *reset*, sensibiliza o optoacoplador enviando o sinal para a entrada digital do microcontrolador, que realiza o tratamento do sinal.

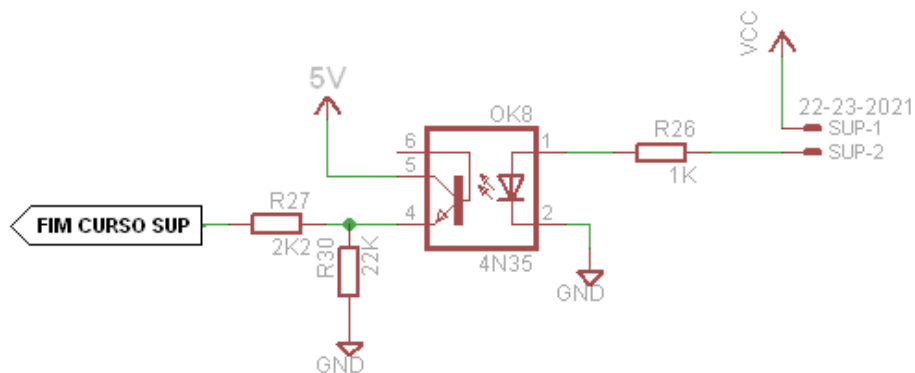


Figura 37 - Circuito dos sensores.
Fonte: Autoria própria

O circuito do sinalizador sonoro de fim de percurso (Figura 38), tem como seu principal componente um *buzzer* de 12V (S5). Na montagem do protótipo optou-se por utilizar em série com o *buzzer* um *trimpot* para regular sua intensidade sonora. O *buzzer* é acionado por uma das saídas digitais do microcontrolador ligado a um transistor que funciona como uma chave.

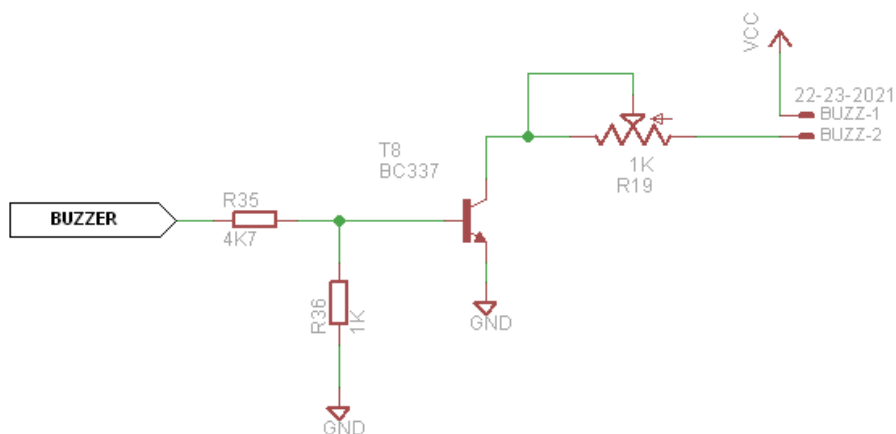


Figura 38 - Circuito do sinalizador sonoro de fim de percurso.
Fonte: autoria própria.

O circuito de acionamento da escova de limpeza (Figura 39) isola a escova do microcontrolador com um relé de 12V. Assim como no acionamento do *buzzer*, a saída digital do microcontrolador é ligada a um transistor que aciona o relé.

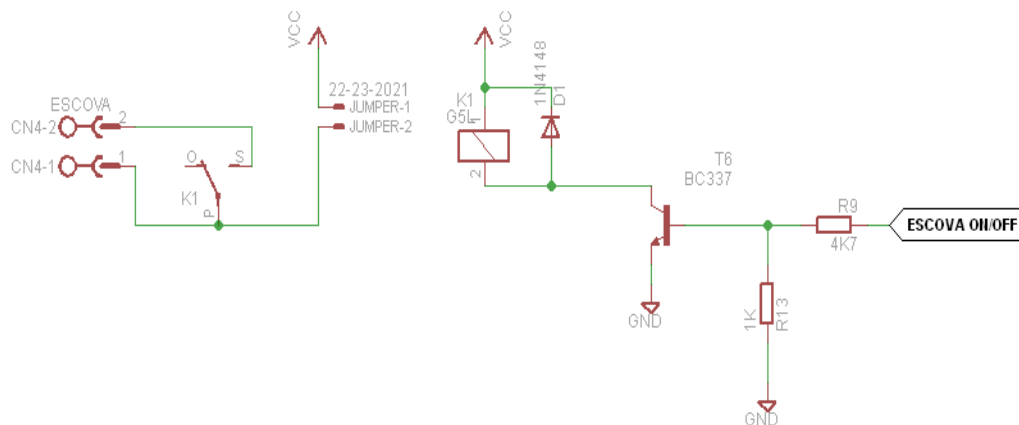


Figura 39 - Circuito de acionamento da escova de limpeza.
Fonte: Autoria própria.

O circuito de subida e descida da escova de limpeza (Figura 40) foi desenvolvido com uma ponte "H" de transistores de potências e isolado do microcontrolador com optoacopladores. Assim o microcontrolador pode, através de duas saídas digitais, inverter o sentido de rotação do motor responsável pela movimentação vertical da escova.

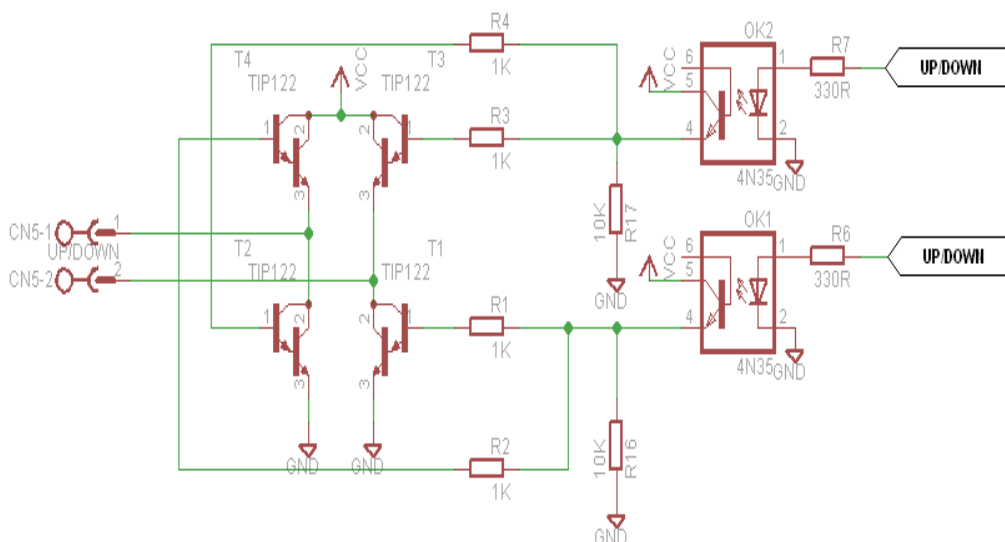


Figura 40 - Circuito de subida e descida da escova de limpeza.
Fonte: Autoria própria.

O circuito de movimentação do equipamento (Figura 41) isola os motores da roda direita e esquerda das saídas digitais do microcontrolador por optoacopladores. Foram utilizados, ainda, transistores de potência para garantir a corrente necessária para o acionamento dos motores.

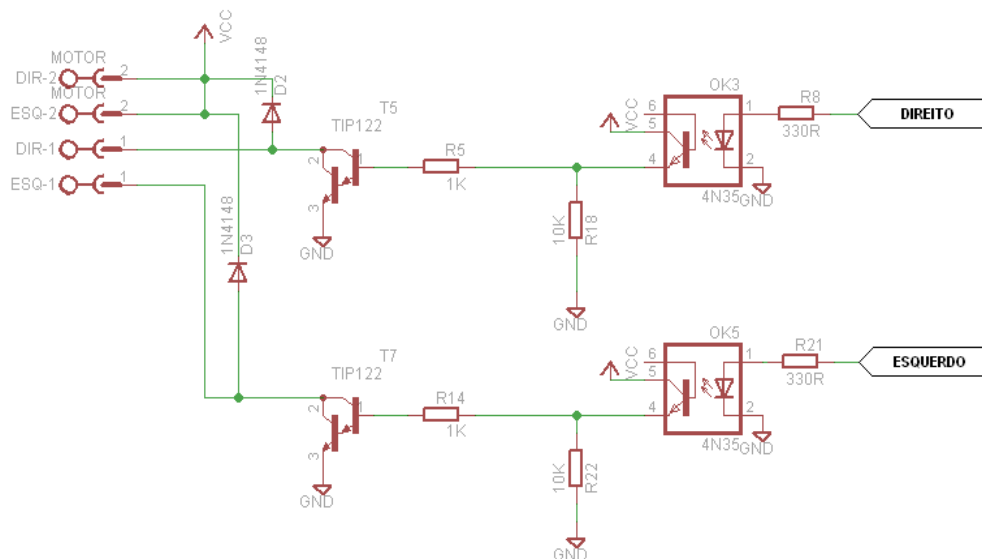


Figura 41 - Circuito de movimentação do equipamento.
Fonte: Autoria própria.

Após o desenvolvimento do diagrama esquemático e do *layout* da PCI, foi realizada a fabricação da PCI por processo de corrosão por perclorato de ferro e realizada a soldagem dos componentes na placa. Não foi necessária a terceirização da montagem da placa ou da fabricação da PCI para o protótipo.

Na montagem do *Hardware* optou-se por utilizar uma fonte para a alimentação de 5V e uma bateria para a alimentação de 12V.

Foi implementado ainda no protótipo um botão de emergência para a parada total do sistema.

3.3.4 Integração

Inicialmente realizou-se o projeto em CAD 3D para construção mecânica do protótipo, tentando-se aliar a simplicidade com a utilização de peças comerciais. Após a conclusão dessa etapa, desenvolveu-se o *hardware* para integrar a mecânica com a eletrônica pela criação de um *firmware* específico para o protótipo.

Para verificar o correto funcionamento do protótipo, foi necessário realizar uma série de validações desta integração. Para tal, criou-se o seguinte roteiro:

Assim que o sistema é ligado, o *firmware* deve receber a informação de que a escova está na posição superior pré-determinada. Essa informação será gerada pelo acionamento da chave fim de curso, instalada na base lateral do projeto, enviando um sinal de 5V ao *hardware*,

Após a confirmação de que a escova encontra-se na posição superior, o protótipo realiza a movimentação horizontal, acionando dois motores DC instalados nas rodas, durante um tempo pré-determinado informado no *firmware*. Para validar a trajetória horizontal, o sensor de posicionamento instalado envia constantemente informações que são processadas pelo *firmware*, que define qual motor DC deve ser acionado para que o robô permaneça a uma distância eficiente para realizar o trabalho de escovação. Após realizado o movimento horizontal, o motor da escova é acionado.

Durante o acionamento da escova, o *firmware* envia um sinal para acionar o sistema de elevação, que deve desenrolar o cabo de aço do enrolador, acionando seu motor DC. Esse processo será realizado até que a chave fim de curso inferior da escova seja acionada, enviando um novo sinal a ser processado.

Após recebido o sinal, o motor do sistema de elevação inverte o sentido de rotação, agora enrolando o cabo de aço no enrolador. Com esse novo movimento, a escova sobe, proporcionando a limpeza vertical da parede da piscina, até o acionamento do fim de curso superior da escova, desligando o motor responsável pela escovação.

Esses ciclos devem se repetir até o acionamento do fim de curso de percurso, que enviará um sinal ao *firmware* informando que os ciclos de limpeza da face da piscina foram realizados.

3.3.5 Correção de falhas

Conforme foi sendo desenvolvido o protótipo, algumas dificuldades e problemas surgiram. Para procurar a melhor solução do problema, foi utilizada a técnica do PDCA (*Plan; Do; Check; Act*), que consiste em melhorar e corrigir processos ou produtos.

Na sequência, serão descritos os planos de melhoria e correção do robô limpador de parede de piscina:

- 1- Defeito: Motor bobinador não levanta conjunto de escovação.
 - a. **Plan:** Falta de torque do motor.
 - i. Substituição do motor por modelo com redução;
 - ii. Projetar novo suporte para o novo motor.
 - b. **Do:** Instalado o motor em seu novo suporte.
 - c. **Check:** As ações deram resultado positivo.
 - d. **Action:** Definido o novo motor como padrão a ser usado.

- 2- Defeito: Carcaça do motor energizado permitia passagem de corrente elétrica para todo o conjunto.
 - a. **Plan:** Isolamento elétrico inexistente nos motores.
 - i. Instalar sistema de isolamento na carcaça com material plástico;
 - ii. Instalar isolamento nos parafusos de fixação (termorretrátil).
 - b. **Do:** Instalados os isolamentos no motor e sistema de fixação.
 - c. **Check:** As ações deram resultado positivo.
 - d. **Action:** Definido modelo de isolamento como padrão a ser usado.

3- Defeito: Passagem de corrente elétrica entre o motor do conjunto de elevação e base do projeto.

- a. **Plan:** Passagem de corrente elétrica entre o motor e a base por meio do eixo do enrolador e mancal.
 - i. Alterar o material do eixo de alumínio para *nylon*;
- b. **Do:** Realizada a troca do eixo.
- c. **Check:** Resultado positivo para isolamento, porém houve falha estrutural na fixação entre eixo e motor, devido à fragilidade do material.
- d. **Action:** Retomado para fase de planejamento para resolução de nova falha.

3.1 - Defeito: Falha na fixação entre eixo e motor.

- a. **Plan:** Material do eixo (*nylon*) não resiste aos esforços durante elevação do conjunto de escova.
 - i. Desenvolver novo eixo em alumínio (rigidez) com bucha externa em *nylon* (isolamento).
- b. **Do:** Instalação do novo eixo com bucha.
- c. **Check:** O resultado foi positivo para o isolamento e esforço, porém gerou falha na fixação dos parafusos “mosca”.
- d. **Action:** Definido novo eixo com bucha como padrão a ser usado, e retomado para a fase de planejamento para resolução de nova falha.

3.2- Defeito: Falha na fixação dos parafusos “mosca”.

- e. **Plan:** Parafusos se soltavam durante ciclo.
- f. Aplicar cola anaeróbica – “trava rosca”.
- g. **Do:** Aplicada a cola.
- h. **Check:** O resultado foi positivo.
- i. **Action:** Definida a cola como padrão a ser usado.

4.0- Defeito: Falha no sistema de tração.

- a. **Plan:** Atrito insuficiente entre roda e piso.
- b. Instalar contrapeso.

- c. Instalar borracha na face externa das rodas.
- d. **Do:** Montagem dos itens (contrapeso e borracha).
- e. **Check:** As ações deram resultado positivo quanto à aderência entre a roda e o piso.
- f. **Action:** Definido como padrão a ser usado.

4.1- Defeito: Falha no sistema de tração.

- a. **Plan:** Folga entre o eixo do motor e o diâmetro interno da roda.
- b. Preenchimento de folga com adesivo bicomponente.
- c. **Do:** Aplicar o adesivo bicomponente.
- d. **Check:** As ações deram resultado positivo.
- e. **Action:** Definido como padrão a ser usado.

5.0- Defeito: Curto deslocamento do conjunto entre ciclos de escovação.

- a. **Plan:** Tempo de acionamento do conjunto de tração insuficiente (baixo).
- b. Aumentar o tempo de acionamento do conjunto de tração via programa.
- c. **Do:** Alterar o tempo de acionamento dos motores e comparar valores.
- d. **Check:** A ação deu resultado positivo.
- e. **Action:** Definido como padrão a ser usado.

6.0- Defeito: Parada inesperada durante processo de limpeza da piscina.

- a. **Plan:** Falha no suprimento de energia devido ao mau contato na fonte.
- b. Localizar e corrigir mau contato.
- c. **Do:** Soldado terminal diretamente à placa da fonte.
- d. **Check:** A ação deu resultado positivo.
- e. **Action:** Definido como padrão a ser usado.

4.0 CUSTOS

Visando validar a exequibilidade e viabilidade comercial do projeto, foram tabelados os custos para a confecção do protótipo.

Nos custos de matéria prima foram computados também os custos dos materiais reaproveitados, cujos valores foram estimados, conforme pesquisa comercial (itens com asterisco (*) ao lado da descrição). Os custos dividem-se entre cinco itens principais: chicotes e cabos, placa controladora, outros itens elétricos, peças compradas e peças usinadas, e serão apresentados nos quadros 1 a 6.

CHICOTES E CABOS					
POSIÇÃO	DESCRIÇÃO	IDENTIFICAÇÃO	QTD	CUSTO UNITÁRIO	TOTAL
CH1	conector kk	INFERIOR	1	R\$ 0,10	R\$ 0,10
CH2	conector kk	SUPERIOR	1	R\$ 0,10	R\$ 0,10
CH3	conector kk	FIM CURSO	1	R\$ 0,10	R\$ 0,10
CH4	conector kk	INICIO	1	R\$ 0,10	R\$ 0,10
CH5	conector kk	BUZZER	1	R\$ 0,10	R\$ 0,10
CH1	terminal kk	INFERIOR	2	R\$ 0,06	R\$ 0,12
CH2	terminal kk	SUPERIOR	2	R\$ 0,06	R\$ 0,12
CH3	terminal kk	FIM CURSO	2	R\$ 0,06	R\$ 0,12
CH4	terminal kk	INICIO	2	R\$ 0,06	R\$ 0,12
CH5	terminal kk	BUZZER	2	R\$ 0,06	R\$ 0,12
CH1	switch mini	INFERIOR	2	R\$ 2,30	R\$ 4,60
CH2	switch mini	SUPERIOR	1	R\$ 2,30	R\$ 2,30
CH3	switch medio	FIM CURSO	1	R\$ 3,60	R\$ 3,60
CH1	cabo paralelo	INFERIOR	1,5	R\$ 0,40	R\$ 0,60
CH2	cabo paralelo	SUPERIOR	0,7	R\$ 0,40	R\$ 0,28
CH3	cabo paralelo	FIM CURSO	0,5	R\$ 0,40	R\$ 0,20
CH4	cabo paralelo	INICIO	0,4	R\$ 0,40	R\$ 0,16
CH5	cabo paralelo	BUZZER	0,2	R\$ 0,40	R\$ 0,08
CH6	cabo paralelo	ANALOGIC	1	R\$ 0,40	R\$ 0,40
MT1	cabo paralelo	MOTOR DIR	0,4	R\$ 0,40	R\$ 0,16
MT2	cabo paralelo	MOTOR ESQ	0,4	R\$ 0,40	R\$ 0,16
MT3	cabo paralelo	S/D ESCOVA	0,3	R\$ 0,40	R\$ 0,12
MT4	cabo paralelo	ESCOVA	1,5	R\$ 0,40	R\$ 0,60
CH1	termo contrátil	INFERIOR	0,03	R\$ 1,50	R\$ 0,05
CH2	termo contrátil	SUPERIOR	0,03	R\$ 1,50	R\$ 0,05
CH3	termo contrátil	FIM CURSO	0,03	R\$ 1,50	R\$ 0,05
CH4	termo contrátil	INICIO	0,03	R\$ 1,50	R\$ 0,05
CH5	termo contrátil	BUZZER	0,03	R\$ 1,50	R\$ 0,05
CH6	termo contrátil	ANALOGIC	0,045	R\$ 1,50	R\$ 0,07
BAT1	terminal faston	BATERIA	2	R\$ 0,30	R\$ 0,60
CH6	potenciômetro	ANALOGIC	1	R\$ 1,50	R\$ 1,50
CH7	chave on/off	LIGA/DESLIGA	1	R\$ 1,50	R\$ 1,50
CH7	chave emergência	LIGA/DESLIGA	1	R\$ 16,30	R\$ 16,30
CUSTO TOTAL DE CHICOTES E CABOS					R\$ 34,55

Quadro 1 – Custos – chicotes e cabos.

Fonte: Autoria própria.

PLACA CONTROLADORA					
POSIÇÃO	DESCRIÇÃO	IDENTIFICAÇÃO	QTD	CUSTO UNITÁRIO	TOTAL
C1	capacitor-wima	27pF	1	R\$ 0,10	R\$ 0,10
C2	capacitor-wima	27pF	1	R\$ 0,10	R\$ 0,10
C3	capacitor-wima	100nF	1	R\$ 0,25	R\$ 0,25
CN1	con-phoenix-508	FONTE 5V	1	R\$ 0,50	R\$ 0,50
CN3	con-phoenix-508	FONTE 12V	1	R\$ 0,50	R\$ 0,50
CN4	con-phoenix-508	ESCOVA	1	R\$ 0,50	R\$ 0,50
CN5	con-phoenix-508	UP/DOWN	1	R\$ 0,50	R\$ 0,50
CN6	con-phoenix-508	ANALOG	1	R\$ 0,50	R\$ 0,50
D1	diodo	1N4148	1	R\$ 0,05	R\$ 0,05
D2	diodo	1N4148	1	R\$ 0,05	R\$ 0,05
D3	diodo	1N4148	1	R\$ 0,05	R\$ 0,05
IC1	microchip	PIC16F877	1	R\$ 15,00	R\$ 15,00
IC1	drill socket	40pins	1	R\$ 2,05	R\$ 2,05
K1	relé	G5L	1	R\$ 1,50	R\$ 1,50
OK1	optocoupler	4N35	1	R\$ 0,85	R\$ 0,85
OK2	optocoupler	4N35	1	R\$ 0,85	R\$ 0,85
OK3	optocoupler	4N35	1	R\$ 0,85	R\$ 0,85
OK4	optocoupler	4N35	1	R\$ 0,85	R\$ 0,85
OK5	optocoupler	4N35	1	R\$ 0,85	R\$ 0,85
OK7	optocoupler	4N35	1	R\$ 0,85	R\$ 0,85
OK8	optocoupler	4N35	1	R\$ 0,85	R\$ 0,85
OK9	optocoupler	4N35	1	R\$ 0,85	R\$ 0,85
XTAL1	crystal	20MHz	1	R\$ 0,75	R\$ 0,75
R1	resistor	1K	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
R2	resistor	1K	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
R3	resistor	1K	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
R4	resistor	1K	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
R5	resistor	1K	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
R6	resistor	2K2	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
R7	resistor	2K2	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
R8	resistor	2K2	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
R9	resistor	4K7	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
R10	resistor	10K	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
R13	resistor	1K	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
R14	resistor	1K	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
R16	resistor	10K	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
R17	resistor	10K	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
R18	resistor	10K	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
R20	resistor	1K	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
R21	resistor	2K2	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
R22	resistor	10K	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
R23	resistor	22K	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
R24	resistor	2K2	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
R25	resistor	1K	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
R26	resistor	1K	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
R27	resistor	2K2	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
R28	resistor	2K2	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
R29	resistor	22K	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
R30	resistor	22K	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
R31	resistor	22K	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
R32	resistor	2K2	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
R33	resistor	22K	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
R34	resistor	1K	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
R35	resistor	4K7	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
R36	resistor	1K	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
R37	resistor	1K	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
S1	connector kk	INFERIOR	2	R\$ 0,20	R\$ 0,40
S2	connector kk	SUPERIOR	1	R\$ 0,20	R\$ 0,20
S3	connector kk	FIM CURSO	1	R\$ 0,20	R\$ 0,20
S4	connector kk	INICIO	1	R\$ 0,20	R\$ 0,20
S5	connector kk	buzzer	1	R\$ 0,20	R\$ 0,20
T1	transistor	TIP122	1	R\$ 0,85	R\$ 0,85
T2	transistor	TIP122	1	R\$ 0,85	R\$ 0,85
T3	transistor	TIP122	1	R\$ 0,85	R\$ 0,85
T4	transistor	TIP122	1	R\$ 0,85	R\$ 0,85
T5	transistor	TIP122	1	R\$ 0,85	R\$ 0,85
T6	transistor	BC337	1	R\$ 0,20	R\$ 0,20
T7	transistor	TIP122	1	R\$ 0,85	R\$ 0,85
T8	transistor	BC337	1	R\$ 0,20	R\$ 0,20
X2	con-phoenix-508	MOTOR D/E	2	R\$ 0,50	R\$ 1,00
-	pci		1	R\$ 26,00	R\$ 26,00
CUSTO TOTAL DA PLACA					R\$ 72,80

Quadro 2 – Custos – placa controladora.
Fonte: Autoria própria.

OUTROS ITENS ELÉTRICOS					
POSIÇÃO	DESCRIÇÃO	IDENTIFICAÇÃO	QTD	CUSTO UNITÁRIO	TOTAL
BAT1	bateria	BATERIA	1	R\$ 49,90	R\$ 49,90
	chave switch c/ haste flexível	FIM DE CURSO	1	R\$ 11,76	R\$ 11,76
MT1	motor c/ redução*	MOTOR DIR*	1	R\$ 80,00	R\$ 80,00
MT2	motor c/ redução*	MOTOR ESQ*	1	R\$ 80,00	R\$ 80,00
MT3	motor c/ redução*	S/D ESCOVA*	1	R\$ 80,00	R\$ 80,00
MT4	motor p/ escova	ESCOVA	1	R\$ 379,90	R\$ 379,90
CUSTO TOTAL DE OUTROS ITENS ELÉTRICOS					R\$ 681,56

Quadro 3 – Custos – outros itens elétricos.

Fonte: Autoria própria.

PEÇAS COMPRADAS			
DESCRIÇÃO	QTD	CUSTO	TOTAL
adaptador para mangueira de piscina	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00
anilha p/ cabo de aço 1/8" inox	1	R\$ 3,91	R\$ 3,91
arruela de pressão M5 - inox	26	R\$ 0,05	R\$ 1,30
arruela de pressão M6 - inox	10	R\$ 0,09	R\$ 0,90
arruela lisa M5 - inox	42	R\$ 0,04	R\$ 1,68
arruela lisa M6 - inox	10	R\$ 0,06	R\$ 0,60
barra de alumínio 3/4"	1	R\$ 8,00	R\$ 8,00
barra roscada M6 - inox	1	R\$ 10,77	R\$ 10,77
cabo de aço inox 1/8 - 6x19	2	R\$ 4,83	R\$ 9,66
clips p/ cabo de aço 1/8" inox	2	R\$ 4,30	R\$ 8,60
enrolador de cabo de aço usinado*	1	R\$ 250,00	R\$ 250,00
escova rotativa	1	R\$ 109,00	R\$ 109,00
lixa d'água G40	1	R\$ 1,10	R\$ 1,10
lixa d'água G50	1	R\$ 1,30	R\$ 1,30
mola para correção de curso	1	R\$ 10,50	R\$ 10,50
parafuso sextavado M3x25 mm	4	R\$ 0,75	R\$ 3,00
parafuso sextavado M4x10 mm	10	R\$ 0,30	R\$ 3,00
parafuso sextavado M5x10 mm	8	R\$ 0,27	R\$ 2,16
parafuso sextavado M5x10 mm - inox	12	R\$ 0,20	R\$ 2,40
parafuso sextavado M6x12 mm - inox	4	R\$ 0,50	R\$ 2,00
parafuso sextavado M6x16 mm - inox	8	R\$ 0,29	R\$ 2,32
parafuso sextavado M6x35 mm - inox	6	R\$ 0,55	R\$ 3,30
pino 5x20 din 6325	2	R\$ 0,70	R\$ 1,40
pino 6x20 din 6325	2	R\$ 1,50	R\$ 3,00
polia para cabo 1/8"	1	R\$ 15,00	R\$ 15,00
ponteira p/ adapt. de mang. de piscina	1	R\$ 5,00	R\$ 5,00
porca sextavada m5 - inox	15	R\$ 0,14	R\$ 2,10
porca sextavada m6 - inox	18	R\$ 0,14	R\$ 2,52
rodas de carrinho de feira*	2	R\$ 40,00	R\$ 80,00
rodizio frontal*	1	R\$ 15,00	R\$ 15,00
spray preto brilhante 400ml	1	R\$ 11,90	R\$ 11,90
CUSTO TOTAL DE PEÇAS COMPRADAS			R\$ 581,42

Quadro 4 – Custos – peças compradas.

Fonte: Autoria própria.

PEÇAS USINADAS			
DESCRIÇÃO	QTD	CUSTO UNITÁRIO	TOTAL
adaptador da bobina nº 1 - nylon	1	R\$ 16,80	R\$ 16,80
adaptador da bobina nº2 - nylon	1	R\$ 34,00	R\$ 34,00
adaptador tubo	1	R\$ 16,00	R\$ 16,00
base de nylon para polia e bucha	1	R\$ 30,00	R\$ 30,00
bucha de nylon	1	R\$ 30,00	R\$ 30,00
eixo do enrolador - aluminio	1	R\$ 30,00	R\$ 30,00
eixo guia	2	R\$ 12,80	R\$ 25,60
mancal do rolamento - aluminio	1	R\$ 30,00	R\$ 30,00
pino da mesa	1	R\$ 7,90	R\$ 7,90
placa superior	1	R\$ 53,10	R\$ 53,10
suporte guia	1	R\$ 13,40	R\$ 13,40
trava limitadora inferior	1	R\$ 45,00	R\$ 45,00
trava limitadora superior	1	R\$ 45,00	R\$ 45,00
CUSTO TOTAL DE PEÇAS USINADAS			R\$ 376,80

Quadro 5 – Custos – Peças Usinadas.

Fonte: Autoria própria.

CUSTO TOTAL DE MATÉRIA PRIMA - PROTÓTIPO	
custo total de chicotes e cabos	R\$ 34,55
custo total da placa controladora	R\$ 72,80
custo total de outros itens elétricos	R\$ 681,56
custo total de peças compradas	R\$ 581,42
custo total de peças usinadas	R\$ 376,80
TOTAL	R\$ 1.747,13

Quadro 6 – Custo total de matéria prima – protótipo

Fonte: Autoria própria

Para avaliar a viabilidade econômica do produto, criou-se um mapa de custos de uma empresa fictícia, aonde a meta de produção e venda mensal é de 60 unidades. A fim de procurar tal viabilidade, foram calculados os custos com mão de obra direta e custos indiretos de fabricação, resultando no DRE (Demonstração de Resultados do Exercício) e dados de um mês fictício. Essas informações constam nos quadros 7 a 16.

MAPA DE CUSTOS INDIRETOS DE FABRICAÇÃO									
		DEPARTAMENTOS AUXILIARES			DEPARTAMENTOS PRODUTIVOS			TOTAIS	
		RH	FINANÇAS	VENDAS	ADMIN. FÁBRICA	MECÂNICA	ELETRÔNICA		
Bases de Rateios									
1	Área (m²)	25	25	30	60	150	100	390	
2	Potência Instalada (kw)	300	300	400	300	1100	2000	4400	
3	Valor dos equipamentos	R\$ 15.000,00	R\$ 20.000,00	R\$ 20.000,00	R\$ 10.000,00	R\$ 30.000,00	R\$ 50.000,00	145000	
4	Nº de Funcionários	1	1	2	1	2	4	11	
5	Vida Útil (anos)	10	10	10	10	5	5		
Custos Próprios									
6	Salários	R\$ 2.500,00	R\$ 2.500,00	R\$ 6.000,00	R\$ 1.200,00	R\$ 3.000,00	R\$ 6.000,00	R\$ 21.200,00	
7	Encargos (considerado 113 %)	R\$ 2.825,00	R\$ 2.825,00	R\$ 6.780,00	R\$ 1.356,00	R\$ 3.390,00	R\$ 6.780,00	R\$ 23.956,00	
8	Depreciação	R\$ 125,00	R\$ 166,67	R\$ 166,67	R\$ 83,33	R\$ 500,00	R\$ 833,33	R\$ 1.875,00	
9	Seguro (considerado 2,5% a.m.)	R\$ 375,00	R\$ 500,00	R\$ 500,00	R\$ 250,00	R\$ 750,00	R\$ 1.250,00	R\$ 3.625,00	
10	SUBTOTAL	R\$ 5.825,00	R\$ 5.991,67	R\$ 13.446,67	R\$ 2.889,33	R\$ 7.640,00	R\$ 14.863,33	R\$ 50.656,00	
Custos Comuns									
Bases Rateios									
11	Aluguel	1	R\$ 320,51	R\$ 320,51	R\$ 384,62	R\$ 769,23	R\$ 1.923,08	R\$ 1.282,05	R\$ 5.000,00
12	Energ. Elt.	2	R\$ 272,73	R\$ 272,73	R\$ 363,64	R\$ 272,73	R\$ 1.000,00	R\$ 1.818,18	R\$ 4.000,00
13	Telefone		R\$ 100,00	R\$ 200,00	R\$ 1.000,00				R\$ 1.300,00
14	SUBTOTAL		R\$ 693,24	R\$ 793,24	R\$ 1.748,25	R\$ 1.041,96	R\$ 2.923,08	R\$ 3.100,23	R\$ 10.300,00
15	Total CIF dos Departamentos		R\$ 6.518,24	R\$ 6.784,91	R\$ 15.194,92	R\$ 3.931,29	R\$ 10.563,08	R\$ 17.963,57	R\$ 60.956,00
Rateio dos Produtivos									
16	Admin. Fábrica	4			R\$ 3.931,29	R\$ 1.310,43	R\$ 2.620,86		
17	Total dos CIF (Custos Indiretos de Fabricação) dos Departamentos					R\$ 11.873,51	R\$ 20.584,43		

Quadro 7 – Mapa de custos indiretos de fabricação.
Fonte: Autoria própria.

1 - MÃO DE OBRA DIRETA							
Dias de trabalho no mês			Cálculo da Jornada Diária		Horas disponíveis para trabalhar		
Geral			40 horas / 5 dias		MECÂNICA	ELETRÔNICA	
	dias	31			20 dias	20 dias	
(-)	Sábados	5			8 horas/dia	8 horas/dia	
(-)	Domingos	5			160 horas/mês	160 horas/mês	
(-)	Feriado	1			2 funcionários	4 funcionários	
(-)	Faltas	0					
(=)	dias	20			8 horas/dia	320 horas disp.	640 horas disp.

Quadro 8 – Horas disponíveis para trabalhar – mês fictício.
Fonte: Autoria própria.

1.a - APONTAMENTO DE HORAS							
Robô limpador de parede de piscina		Total de horas produtivas		Total de horas apontadas		Total de horas improdutivas	
		Mecânica	Eletrônica	Mecânica	Eletrônica	Mecânica	Eletrônica
Produção	Consumo (horas/unidade)	240	480	320	640	80	160
60	Mecânica						
	4	8	720 horas	960 horas	240 horas		

Quadro 9 – Horas produtivas, apontadas e improdutivas.
Fonte: Autoria própria.

1.b - SALÁRIO MENSAL DO DEPARTAMENTO							
Mecânica				Eletrônica			
Horas Disponíveis	Salário/hora	Salário mensal	Encargos (113%)	Horas Disponíveis	Salário/hora	Salário mensal	Encargos (113%)
320	R\$ 9,38	R\$ 3.000,00	R\$ 3.390,00	640	R\$ 9,38	R\$ 6.000,00	R\$ 6.780,00

Quadro 10 – Salário mensal do departamento de mecânica e eletrônica e encargos.
Fonte: Autoria própria.

1.c - CUSTO DA MÃO DE OBRA DOS DEPARTAMENTOS			
	Salário depto.	Encargos	Custo da Mão de Obra
Mecânica	R\$ 3.000,00	R\$ 3.390,00	R\$ 6.390,00
Eletrônica	R\$ 6.000,00	R\$ 6.780,00	R\$ 12.780,00

Quadro 11 – Custo de mão de obra do departamento de mecânica e eletrônica e encargos.
Fonte: Autoria própria.

1.d - CUSTO/HORA DA MÃO DE OBRA DO DEPARTAMENTO			
	Custo da Mão de Obra	Horas disponíveis	Custo/Hora
Mecânica	R\$ 6.390,00	320	R\$ 19,97
Eletrônica	R\$ 12.780,00	640	R\$ 19,97

Quadro 12 – Custo/hora da mão de obra do departamento de mecânica e eletrônica.
Fonte: Autoria própria.

1.e - CUSTO DA MÃO DE OBRA DIRETA DOS PRODUTOS					
Produto	Horas apontadas		Custo/Hora		Custo da Mão de Obra direta
	Mecânica	Eletrônica	Mecânica	Eletrônica	
Robô Limpador de Parede de Piscina	320	640	R\$ 19,97	R\$ 19,97	R\$ 19.170,00

Quadro 13 – Custo de mão de obra direta.
Fonte: Autoria própria.

2 - CUSTOS INDIRETOS DE FABRICAÇÃO RATEADOS AOS PRODUTOS							
Produto	Produção	Setor	Consumo (h)	Total (H)	CIF/hh	Subtotal	Total
Robô Limpador de Parede de Piscina	60	Mecânica	4	240	R\$ 49,47	R\$ 11.873,51	R\$ 32.457,93
		Eletrônica	8	480	R\$ 42,88	R\$ 20.584,43	

Quadro 14 – Custo indireto de fabricação rateado ao produto.
Fonte: Autoria própria.

3 - DRE								
Custo Final =	Custo MP +	Custo MOD +	Custo IF	Total	Preço Final = Custo Final / Produção	Produção	Total	
Robô Limpador de Parede de Piscina	R\$ 104.827,80	R\$ 19.170,00	R\$ 32.457,93	R\$ 156.455,73	Robô Limpador de Parede de Piscina	R\$ 156.455,73	60	R\$ 2.607,60

Quadro 15 – DRE – cálculo do custo final.

Fonte: Autoria própria.

4 - DADOS DO MÊS X								
Produto	Vendas	Preço de Venda	Vendas	Custo	Despesas	Margem	ICMS (18%)	LUCRO LÍQUIDO
Robô Limpador de Parede de Piscina	60	R\$ 4.000,00	R\$ 240.000,00	R\$ 156.455,73	R\$ 28.498,07	R\$ 55.046,20	R\$ 43.200,00	R\$ 11.846,20

Quadro 16 – Dados do mês fictício – lucro líquido para venda de 60 unidades no mês.

Fonte: Autoria própria.

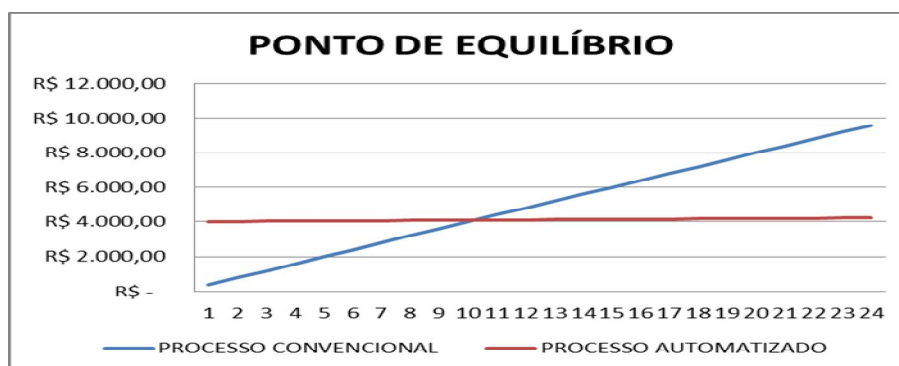
Conforme informações acima, o produto torna-se economicamente viável para produção, caso o cenário fictício se reflita na realidade, dentro de seus custos e quantidade de vendas.

A viabilidade comercial do produto pode ser medida também através da comparação de custos do processo convencional (manual), com o modelo automatizado. Consideramos o produto viável se o ponto de equilíbrio entre os processos for inferior a dois anos (verificar quadros 17 e 18). Para entendimento do custo mensal do processo automatizado, verificar quadro 19.

CUSTOS DE LIMPEZA DE PISCINA - (2 X POR SEMANA) - PISCINA TESTE			
	CUSTO INICIAL	CUSTO MENSAL	CUSTO TOTAL EM 2 ANOS
PROCESSO CONVENCIONAL	R\$ -	R\$ 400,00	R\$ 9.600,00
PROCESSO AUTOMATIZADO	R\$ 4.000,00	R\$ 9,19	R\$ 4.220,56

Quadro 17 – Custo de limpeza de piscina – duas vezes por semana.

Fonte: Autoria própria.



Quadro 18 – Ponto de equilíbrio – meses de uso x custo final.

Fonte: Autoria própria.

Verificou-se que o ponto de equilíbrio entre os modelos de processos é encontrado entre os meses 10 e 11 (Quadro 19) de uso do produto, tornando o produto viável comercialmente, conforme critérios estabelecidos anteriormente.

PONTO DE EQUILIBRIO			
MÊS	PROCESSO CONVENCIONAL	PROCESSO AUTOMATIZADO	
01	R\$ 400,00	R\$ 4.009,19	
02	R\$ 800,00	R\$ 4.018,38	
03	R\$ 1.200,00	R\$ 4.027,57	
04	R\$ 1.600,00	R\$ 4.036,76	
05	R\$ 2.000,00	R\$ 4.045,95	
06	R\$ 2.400,00	R\$ 4.055,14	
07	R\$ 2.800,00	R\$ 4.064,33	
08	R\$ 3.200,00	R\$ 4.073,52	
09	R\$ 3.600,00	R\$ 4.082,71	
10	R\$ 4.000,00	R\$ 4.091,90	
11	R\$ 4.400,00	R\$ 4.101,09	
12	R\$ 4.800,00	R\$ 4.110,28	
13	R\$ 5.200,00	R\$ 4.119,47	
14	R\$ 5.600,00	R\$ 4.128,66	
15	R\$ 6.000,00	R\$ 4.137,85	
16	R\$ 6.400,00	R\$ 4.147,04	
17	R\$ 6.800,00	R\$ 4.156,23	
18	R\$ 7.200,00	R\$ 4.165,42	
19	R\$ 7.600,00	R\$ 4.174,61	
20	R\$ 8.000,00	R\$ 4.183,80	
21	R\$ 8.400,00	R\$ 4.192,99	
22	R\$ 8.800,00	R\$ 4.202,18	
23	R\$ 9.200,00	R\$ 4.211,37	
24	R\$ 9.600,00	R\$ 4.220,56	

Quadro 19 – Comparação de custos mensal para limpeza de piscina.
Fonte: Autoria própria.

5.0 TESTES E RESULTADOS

Depois de realizada a integração do sistema e corrigidas suas falhas, o protótipo apresentou o funcionamento esperado por cerca de dois meses, realizando a limpeza da piscina em grau considerado satisfatório pelos usuários. Após este período, o mesmo apresentou novas falhas.

O protótipo deveria realizar a limpeza da parede da piscina testada de profundidade variável, respeitando os limites estipulados em sua ficha técnica (Figuras 42 e 43 e quadro 20). Com a utilização constante do produto, notou-se que o tempo de limpeza aumentou consideravelmente, devido ao desgaste do sistema de tração.

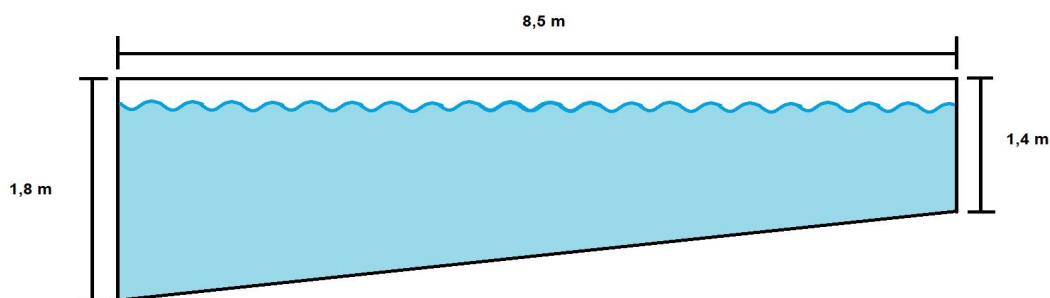


Figura 42 - Piscina teste – parede lateral.
Fonte: Autoria própria.

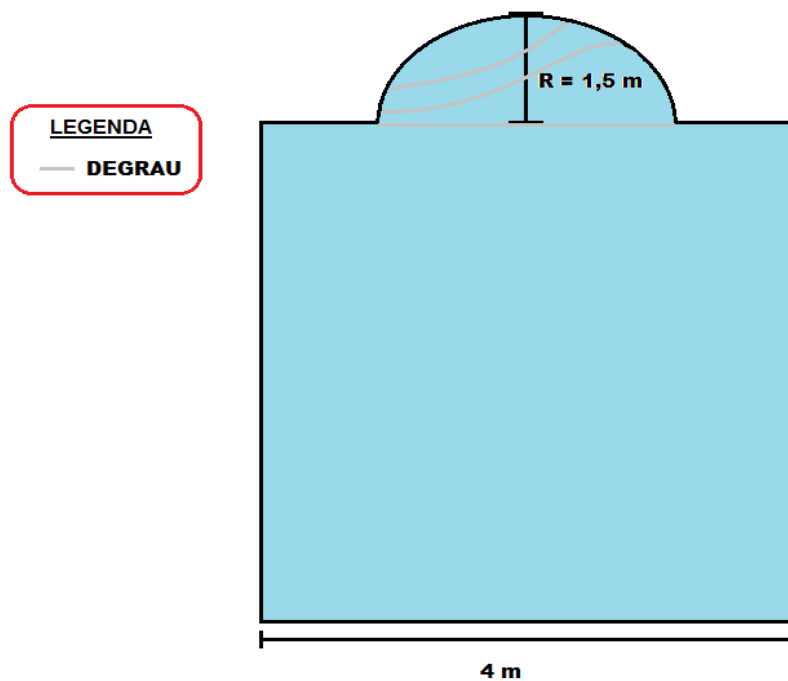


Figura 43 – Piscina teste – vista superior.
Fonte: Autoria Própria.

FICHA TÉCNICA - ROBÔ LIMPADOR DE PAREDE DE PISCINA - PROTÓTIPO		
DESCRIÇÃO	VALOR	OBSERVAÇÕES
LARGURA	72 cm	-
ALTURA	102 cm	-
COMPRIMENTO	68 cm	-
PESO	20 kg	-
PROFUNDIDADE MÁXIMA	80 cm	-
PROFUNDIDADE MÍNIMA	10 cm	-
VELOCIDADE DE LIMPEZA	6m e 48s por m ²	-
CONSUMO ENERGÉTICO	0,2 kWh	-
CUSTO MÉDIO MENSAL PARA DUAS UTILIZAÇÕES SEMANAIS EM PISCINA TESTE	R\$ 9,19	Considerado tarifário B1 - Residencial - Padrão COPEL - R\$ 0,39631 / kWh - Incluso ICMS, PIS e COFINS.
RAIO MÍNIMO PARA PISCINAS REDONDAS	150 cm	-

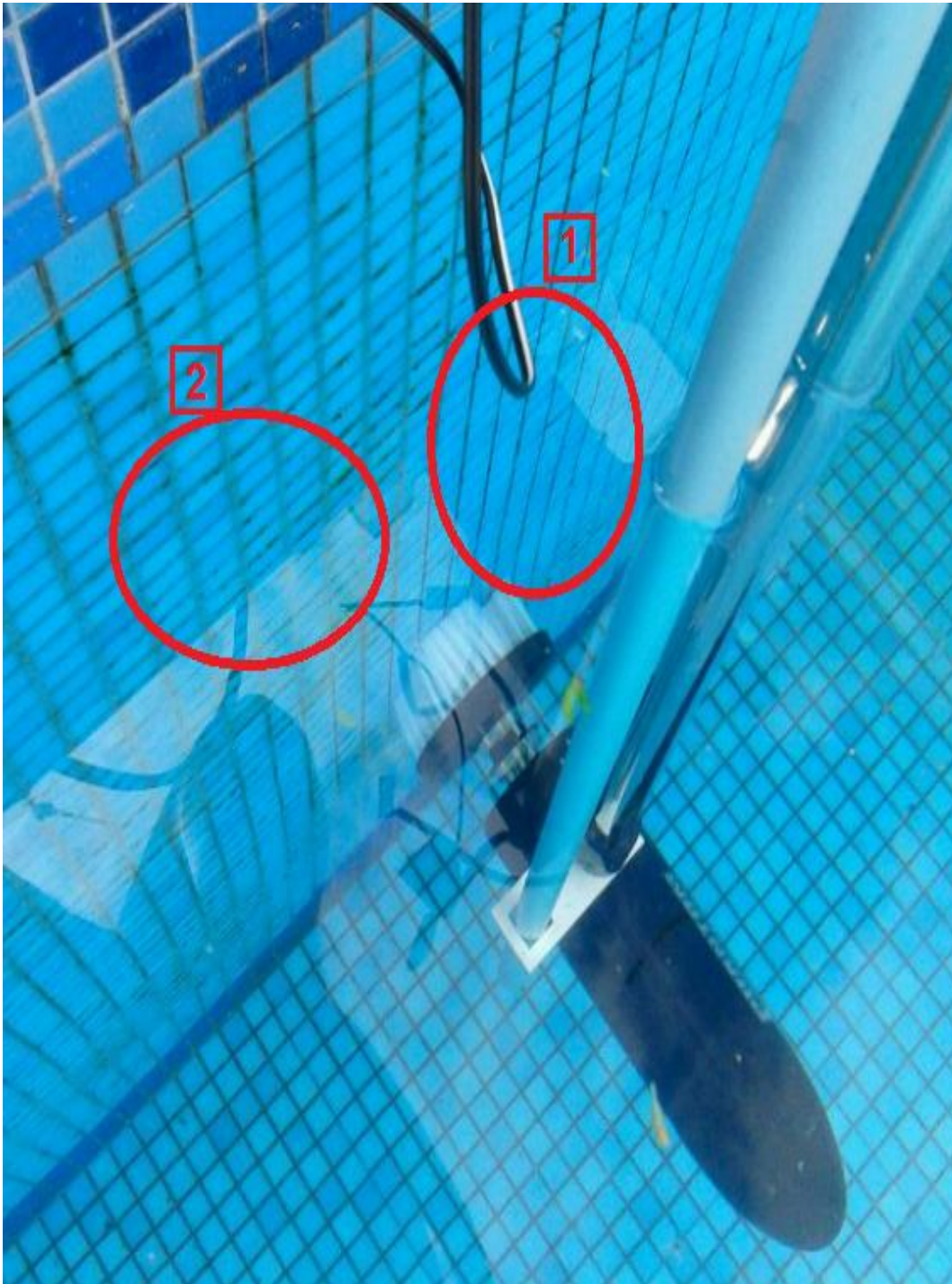
Quadro 20 – Ficha técnica do robô limpador de piscina – protótipo.
Fonte: Autoria Própria.

À medida que a roda tracionava o protótipo, o desgaste da borracha fixada na parte externa da roda fazia com que o atrito entre o piso e a roda fosse insuficiente para realizar a movimentação do robô.

Também se verificou que alguns componentes do *hardware* apresentaram falhas inesperadas, requerendo a realização da troca destes para concluir o processo de limpeza.

Outro item que apresentou problema foi o motor de tração, que apresentava falha no funcionamento normal após alguns ciclos de limpeza. Para a confecção do protótipo, foi utilizado um motor reaproveitado, visando reduzir os custos do mesmo, porém notou-se a importância de padronizar outro modelo de motor, de baixo custo e de fácil aquisição no mercado nacional, com garantia de fabricação.

Quando comparamos o resultado de limpeza do processo convencional com o processo automatizado, notamos que o mesmo também é eficiente. O resultado da limpeza pode ser visto na figura 44. Notar que o número 1 na figura refere-se à área que passou pelo processo de limpeza e o número 2 ainda não.



**Figura 44 – Comparação de área limpa (nº 1) e área ainda não limpa (nº 2).
Fonte: Autoria própria.**

O protótipo desenvolvido (integrado os sistemas mecânicos, elétricos e eletrônicos) pode ser visto nas figuras 45 a 47.

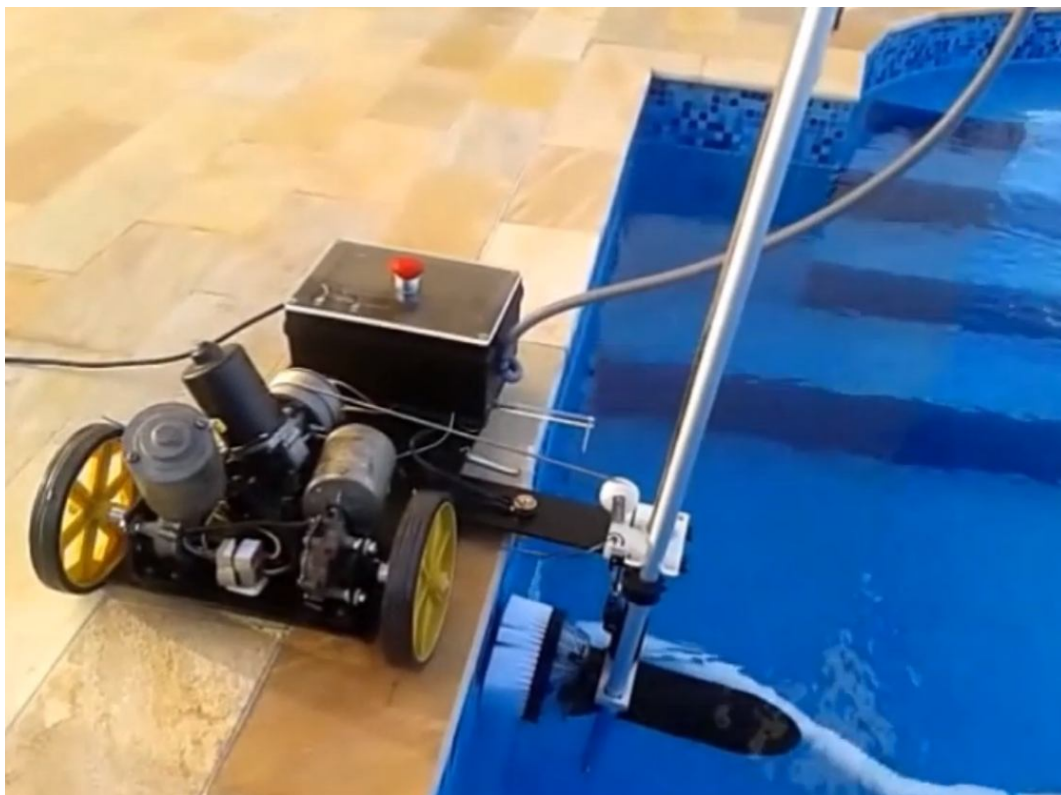


Figura 45 – Vista geral – protótipo.
Fonte: Autoria própria.

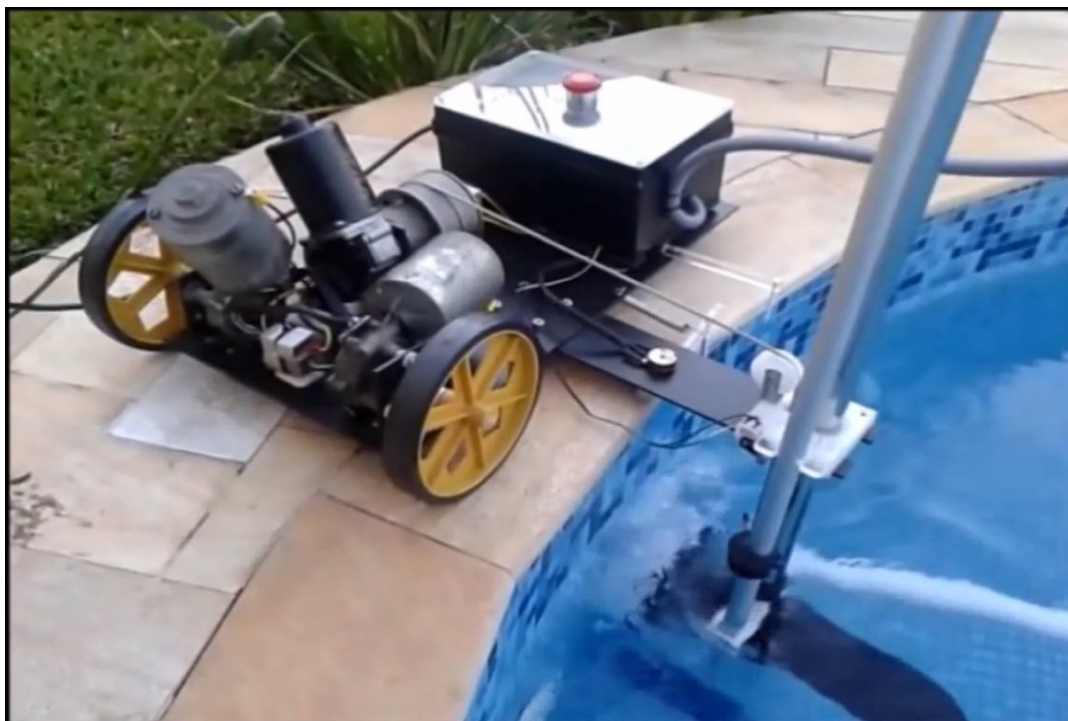


Figura 46 – Vista geral – limpeza em borda curva.
Fonte: Autoria própria.

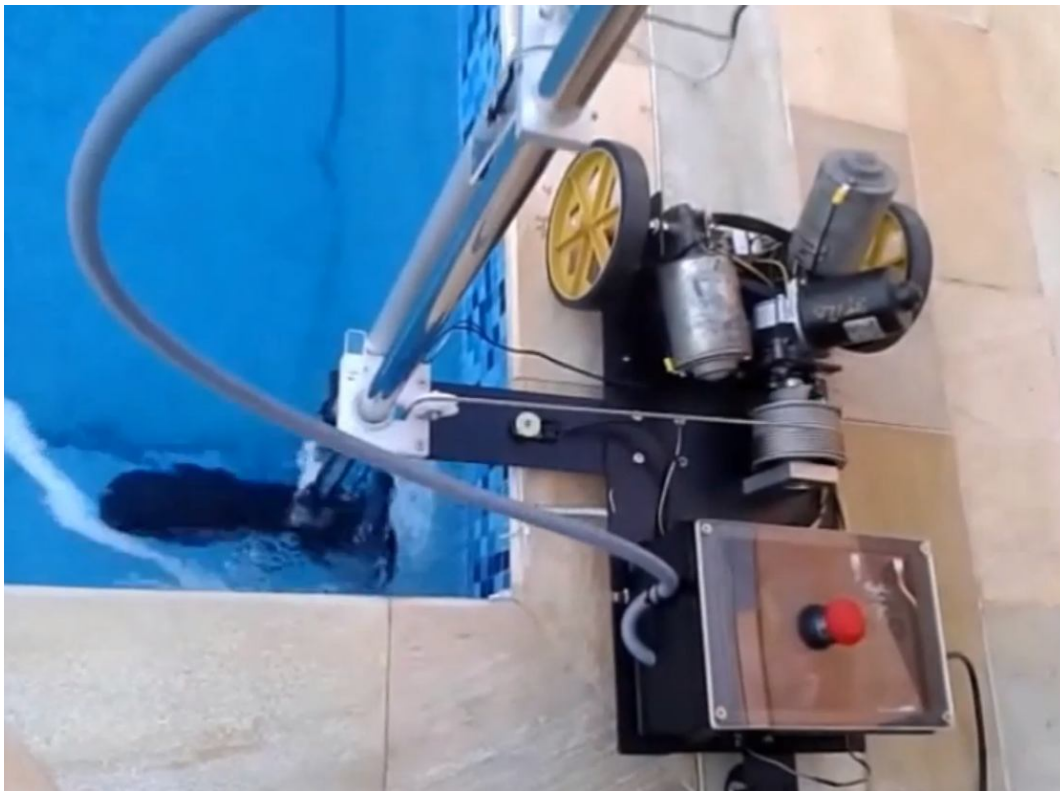


Figura 47 – Vista superior do protótipo – acionamento de fim de curso.
Fonte: Autoria própria.

6.0 CONCLUSÃO

Após análise dos resultados obtidos, assim como dos custos e ponto de equilíbrio, validou-se o potencial comercial e econômico do produto, porém verificou-se que serão necessárias algumas alterações no robô para potencializar o seu apelo comercial.

Detalhados todos os fatores técnicos e comerciais do produto, consideramos o conceito viável, porém deve ser necessária a realização das melhorias propostas para comercialização do produto final.

Também pode se considerar que, assim como durante a execução do protótipo, foram realizadas algumas melhorias visando atender uma variedade mais abrangente de formatos de piscinas, o que já torna o produto mais versátil que o modelo sugerido na proposta inicial.

Com a conclusão do projeto, os objetivos específicos inicialmente estipulados foram alcançados assim como o projeto pode ser considerado viável tecnicamente e comercialmente (após realização das melhorias propostas), conforme formas mensuráveis estipuladas pela equipe no início do trabalho (capaz de realizar a limpeza com qualidade igual ou superior ao processo manual porém exigindo menor esforço físico, aliado ao menor custo quando comparado ao processo terceirizado).

6.1 TRABALHOS FUTUROS

Visando a melhoria do produto, apresenta-se alguns itens que tornarão o produto mais confiável, aumentando o seu potencial de venda:

- 1- Utilização de motores novos, de fabricação nacional, com garantia de procedência;
- 2- Utilização de roda de borracha para tração, com espessura superior a utilizada no protótipo inicial;
- 3- Confecção de placa de circuito impresso em empresa especializada, reduzindo os riscos de soldas frias e melhorando a qualidade do produto;

- 4- Confeção de peças e chaparias em alumínio, visando à redução do peso do robô, facilitando o manuseio do mesmo pelo usuário e aumentando sua resistência a oxidação;
- 5- Redução do tempo necessário para realizar o processo de limpeza;
- 6- Desenvolvimento de um sistema capaz de reposicionar-se automaticamente em outra face da piscina, após atuação do fim de curso de fim de piscina.
- 7- Desenvolver sistema de segurança, capaz de reduzir os riscos de choques elétricos, devido à eventual queda do produto dentro da piscina.
- 8- Desenvolver proteção contra chuva, evitando assim danos aos componentes eletrônicos.
- 9- Desenvolver sistema de fácil acoplamento do sistema de elevação na base do robô, facilitando assim o seu manuseio para guardar o produto.

REFERÊNCIAS

AUTOMATIC HOUSE. **O que é automação residencial.** 2013. Disponível em: <<http://www.automatichouse.com.br/AutomaticHouse/WebSite/Automacao/Residencial.aspx>>. Acesso em 17 maio 2013, 23:30.

AZUPI. **Escova de alumínio com cerdas de Inox Netuno.** 2014. Disponível em: <<http://www.azupi.com.br/ESCOVA-DE-ALUMINIO-COM-CERDAS-DE-INOX-NETUNO.HTML>>. Acesso em 02 jun. 2014, 15:55.

BANDAB. **Oferta de empregadas domésticas deve diminuir e salário aumentar.** 2011. Disponível em: <<http://bandab.pron.com.br/geral/noticias/22421/?noticia=oferta-de-empregadas-domesticas-deve-diminuir-e-salario-aumentar>>. Acesso em 23 out. 2011.

BORTOLUZZI, Matias. **Histórico da automação residencial.** 2013. SRA Engenharia Blog. 2013. Disponível em: <http://sraengenharia.blogspot.com.br/2013/01/historico-da-automacao-residencial_10.html>. Acesso em 22 mar. 2014.

HARRIS, Tom. **Como funcionam as piscinas.** 2002. Disponível em: <<http://casa.hsw.uol.com.br/piscinas.htm>>. Acesso em 01 nov. 2011.

IFR. **History of industrial robots. Milestone of Technology and Commercialization.** 2012. Disponível em: <http://www.ifr.org/uploads/media/History_of_Industrial_Robots_online_brochure_by_IFR_2012.pdf>. Acesso em 02 jun. 2014, 15:43.

IPEA. **Situação atual das trabalhadoras domésticas no país.** 2011. Gráfico 3 – anos médios de estudo das trabalhadoras domésticas e das ocupadas*, segundo raça/cor. Brasil, 1999 a 2009, p. 8. Disponível em: <http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C812D302E6FAC0130460298591B4D/PEA_Comunicado90.pdf>. Acesso em 02 jun. 2014, 15:40.

IROBOT. **Robots that make a difference in the home.** 2013. Disponível em: <<http://www.irobot.com/us>>. Acesso em 02 jun. 2014, 15:22.

IROBOT. **IRobot Mirra. Pool Cleaning Robot.** 2013. Disponível em: <http://www.irobot.com/us/robots/home/mirra/Coverage_Technology/60_Floating_power_cord>. Acesso em 25 maio 2013.

LAYTON, Julia. **Como funciona o aspirador-robô**. 2005. Disponível em: <<http://casa.hsw.uol.com.br/aspirador-robo3.htm>>. Acesso em 01 nov. 2011.

MEDIA DIGIKEY. **ICD-U40**. 2013. Disponível em: <<http://media.digikey.com/PHOTOS/CUSTOM%20COMPUTER%20PHOTOS/ICD-U40.JPG>>. Acesso em 02 jun. 2014.

MEGAPISCINAS. **Manual de limpeza e conservação Megapiscinas**. 2011. Disponível em: <http://www.megapiscinas.com.br/manual_limpeza.pdf>. Acesso em 17 maio 2013.

MEIRA, Fernando. **A história da automação industrial parte 1**. 2008. Disponível em: <<http://automagate.com.br/?p=12>>. Acesso em 23 out. 2011, 22:45.

PEREIRA, Fábio. **Microcontroladores PIC: Programação em C**. 2 ed. São Paulo: Ed. Érica, 2003. Fig 1.3, p 21.

PERROTI, Paulo. **A nova lei das empregadas domésticas, uma questão de justiça**. 2013. Disponível em: <<http://www.jb.com.br/sociedade-aberta/noticias/2013/04/24/a-nova-lei-das-empregadas-domesticas-uma-questao-de-justica/>>. Acesso em 02 jun. 2014, 15:33.

SISTEMA MANUTENÇÕES. **Dicas para limpeza de sua piscina**. 2009. Disponível em: <<http://sistemamanutencoes.com/dicas-para-limpeza-de-sua-piscina/>>. Acesso em 17 maio 2013.

SODRAMAR. **Equipamentos e acessórios**. 2013. A piscina dos seus sonhos. Disponível em: <<http://www.sodramar.com.br/Categoria.asp?catCodigo=14&acao=Categorias>>. Acesso em 23 maio 2013.

TI YAMAHA. **Motor elétrico Phantom 34 libras**. 2013. Disponível em: <http://tiyamaha.com.br/verprodutos.php?cat=motores-eletricos&id=moto-eletrico-phantom-34-libras-agua-doce-marine-sports#images/galerias/5/motor-eletrico-phantom-34-libras-para-agua-doce-nota-fiscal_mlb-o-3306671309_102012.jpg>. Acesso em 22 mar. 2014.

ANEXO

ANEXO A – Diagrama esquemático do hardware.

