

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Sistema de automação para farmácias hospitalares

Texto apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como requisito para a conclusão do curso de graduação em Engenharia Mecatrônica, junto ao Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos (PMR).

Alunos:
Lucas Duarte Bahia
Marcos Yu Sakurada

São Paulo
2016

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Sistema de automação para farmácias hospitalares

Texto apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como requisito para a conclusão do curso de graduação em Engenharia Mecatrônica, junto ao Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos (PMR).

Alunos:

Lucas Duarte Bahia

Marcos Yu Sakurada

Orientador:

Prof. Dr. Fabrício Junqueira

São Paulo
2016

FICHA CATALOGRAFICA

Bahia Duarte, Lucas; Sakurada Yu, Marcos.

Sistema de automação para farmácias hospitalares /
Lucas Duarte Bahia, Marcos Yu Sakurada. – São Paulo, 2016.
64 f. : il.

Monografia (Graduação em Engenharia Mecatrônica) — Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de
Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos (PMR).

1. Automação de farmácia. 2. Dispensador de medicamentos. I.
Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de
Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos (PMR).

Agradecimentos

Aos nossos pais, pela dedicação, amor e carinho incondicionais e todos os ensinamentos transmitidos ao longo da vida.

Ao nosso orientador, pela presença e disponibilidade para nos aconselhar a realizar com excelência o trabalho de conclusão de curso.

Ao Carlos Alberto de Souza Lima, funcionário da oficina da Mecatrônica, por todo auxílio no nosso sistema mecânico, desde o projeto até a fabricação, e, principalmente, por compartilhar de sua experiência com a área de manufatura.

Ao Altamir Sousa e ao Gustavo Galvão de França, responsáveis pela coordenação da farmácia hospitalar do HU, por nos mostrar na prática o processo de dispensação atual, além de disponibilizar o conhecimento e dados para o nosso projeto.

Aos professores, pelo tempo dedicado à nossa formação.

Resumo

Os danos e mortes como consequência da incorreta gestão de medicamentos constituem um dos maiores desafios contemporâneos na área de saúde. Erros de medicação afetam anualmente pacientes em hospitais do mundo todo e as principais causas estão relacionadas ao fator humano, presente nesses locais. O processo de medicação em hospitais pode ser dividido nas fases de prescrição, transcrição, manipulação, dispensação e administração. Dentre essas etapas, a de dispensação é uma área com grande potencial para a automação. Diversas aplicações de tecnologias de informática e de automatização já mostraram benefícios e, portanto, o objetivo deste estudo é verificar a viabilidade de novas alternativas de sistema de automação para dispensação de medicamentos em farmácias hospitalares, na tentativa de diminuir os erros relacionados a medicamentos, garantindo a segurança dos pacientes e melhorias das condições atuais dos profissionais de saúde. O projeto foi desenvolvido para uma prova de conceito funcional de um dispensador de medicamentos automático controlado por *software*. Definiu-se o protótipo para o estoque e a liberação de medicamentos, armazenados em compartimentos com identificação por RFID - tecnologia que garante agilidade e confiabilidade ao processo. Com os testes do protótipo, observou-se que, nas 60 tentativas, não houve erros na dispensação de medicamentos; e obteve-se o tempo de 5,47 segundos em média para a liberação de um medicamento e 13,53 segundos em média, se considerado o tempo de seleção de um medicamento no sistema. Dessa forma, com esse estudo, permitiu-se verificar uma alternativa de automação e seus impactos positivos no processo em hospitais, nos aspectos de segurança e confiabilidade.

Palavras-chave: dispensador de medicamentos, farmácia hospitalar, automação de farmácia, erros na administração de medicamentos, erros de medicamentos, identificação por RFID.

Abstract

The accidents and deaths as consequence of the incorrect medication management are one of the greatest challenges in healthcare sector nowadays. Errors regarding medication affect annually patients all over the world, and the main causes are associated to human factor in hospitals. The medication process of one patient can be divided into five steps: prescription, transcription, manipulation, dispensing and administration. Among these steps, the dispensing is a section that brings great potential for automation. There are already a cluster of IT and automatization Technology applications that provide general benefits for the patient's safety and for better working conditions of healthcare staff. The project's objective is to verify the feasibility of a new alternative for automation system focused in hospital pharmacies, minimizing the medication errors and ensuring patient's safety. This project was developed for a proof of concept of an automated dispensing system controlled by a software. The prototype was designed to perform stock control and dispensing, where the medicines are stored in containers with a RFID identification – well-known technology for speed and reliability. The prototype testing showed no dispensing errors in 60 attempts. Only the dispensing process took on average 5,47s per medicine, while the whole process, including the time to input the medicines in the software and the time the prototype dispensed them, took on average 13,53s per medication. Therefore, this study allowed to verify a new alternative of automation with its positive impacts in operational processes at hospitals, when analyzing aspects of safety and reliability.

Keywords: medication dispensing, hospital pharmacy, pharmacy automation, medication dispensing errors, error associated with medication, RFID identification.

Sumário

Lista de Ilustrações	9
Lista de Tabelas	10
1. Introdução.....	11
1.1. Objetivos gerais	14
1.2. Motivação	14
2. Revisão Bibliográfica.....	15
2.1. Estado da Arte.....	15
2.1.1. Sistema automatizado de carregamento e dispensação de medicamentos.....	15
2.1.2. Sistema de dispensação automático	17
2.2. Mecanismo para liberar apenas um medicamento por vez	18
2.3. Componente para identificação de medicamentos.....	21
2.4. Componente controlador do sistema de automação	23
2.5. Componente de detecção	24
2.6. Componente atuador do sistema mecânico.....	25
3. Projeto	27
3.1. Mecânica.....	28
3.1.1. Parte I – Armazenamento e dispensação de esferas	30
3.1.2. Parte II – Checagem e Distribuição de esferas	31
3.2. Software	32
3.2.1. Conceito e Planejamento	32
3.2.2. Detalhes Técnicos	35
3.2.2.1. Modelo de Dados.....	35
3.2.2.2. Frameworks e Linguagens.....	36
3.2.2.3. Biblioteca de Conexão com o Arduino.....	37
3.3. Eletrônica	37
4. Implementação	40
4.1. Mecânica	40
4.2. Software	42
4.3. Eletrônica	47
5. Testes.....	49
5.1. Teste do subsistema mecânico	49
5.2. Teste do subsistema eletrônico	49

5.3. Teste do subsistema de software.....	49
5.4. Teste do sistema de automação.....	50
6. Conclusão.....	52
7. Referências.....	54
Anexo A – Datasheets	59
Apêndice A – Planejamento Inicial do Projeto	60
Apêndice B – Projeto das placas de circuito eletrônico	62
Apêndice C – Desenhos técnicos do projeto	66

Lista de Ilustrações

Figura 1: Produto PillPick Light. Fonte: SwissLog (2015).	16
Figura 2: Diagrama das posições de cada módulo. Fonte: SwissLog (2015).	16
Figura 3: Robô SINGLEPILL para armazenar e retirar as doses unitarizadas. Fonte: SwissLog (2015).	17
Figura 4: Robô PillPicker para unitarização de medicamentos. Fonte: SwissLog (2015).	17
Figura 5: Produto Supply Point. Fonte: SisnacMed (2015).	18
Figura 6: Exemplo de uso do Supply Point. Fonte: SisnacMed (2015).	18
Figura 7: Mecanismo Prismático para liberação de container (Imagem retirada de http://i.stack.imgur.com/aRqlf.png).	19
Figura 8: Mecanismo para liberação de containers (retirado de US6964355 B2).	20
Figura 9: Exemplo do mecanismo de liberação com múltiplas pás utilizados em equipamentos do dia-a-dia (Imagem retirada de http://i.stack.imgur.com/Ab4YPm.jpg).	20
Figura 10: Mecanismo para liberação de pílulas (retirado de US7359765 B2).	21
Figura 11: Conjunto RFID para o projeto. (Fontes: multilogica-shop e Neoyama).	23
Figura 12: Sensor de detecção TCRT5000 (à esquerda) e E18-D80NK (à direita). Fonte: Vishay Semiconductors/ 61mcu.	24
Figura 13: Componente emissor do sensor E18-D80NK. Fonte: 61mcu.	25
Figura 14: Componente receptor do sensor E18-D80NK. Fonte: 61mcu.	25
Figura 15: Esboço de alternativa de solução para o dispensador.	29
Figura 16: Vista Projeto em CAD em perspectiva.	29
Figura 17: Vista explodida do mecanismo M1.	30
Figura 18: Vista explodida do mecanismo M2.	31
Figura 19: Diagrama de Casos de Uso do Sistema de Software	34
Figura 20: Diagrama de Componentes.	35
Figura 21: Modelo de dados do Sistema	36
Figura 22: Circuito elétrico do sistema.	39
Figura 23: Protótipo do projeto de automação para dispensador de medicamentos.	40
Figura 24: Conjunto mecânico do dispensador automático.	41
Figura 25: Estrutura do mecanismo para a liberação das cápsulas de medicamento.	41
Figura 26: Simulação do processo de direção da esfera para o terminal.	42
Figura 27: Página de Login.	43
Figura 28: Página de Pedido de Medicamentos.	43
Figura 29: Exemplo de mensagem de possíveis erros comuns no uso de um sistema automático.	44
Figura 30: Página de Dash Administrador Parte 1.	44
Figura 31: Página de Dash Administrador Parte 2.	45
Figura 32: Página de Cadastro de Novo Usuário	45
Figura 33: Diagrama de fluxo do processo de dispensação automático.	46
Figura 34: " Caixa da eletrônica" do sistema de automação.	47
Figura 35: Datasheet do sensor de distância.	59
Figura 36: Diagrama de Gantt.	62
Figura 37: Circuito Esquemático da placa P1.	63
Figura 38: Circuito Esquemático da placa P2.	64
Figura 39: Lista de materiais das placas P1 e P2.	65

Lista de Tabelas

Tabela 1: Especificações técnicas do Arduino MEGA. Fonte: Arduino.....	23
Tabela 2: Especificações técnicas do servo HX5010. Fonte: Hextronik.....	26
Tabela 3: Testes de Acertos e Erros do Sistema.....	50
Tabela 4: Tempos para a Dispensação de Medicamentos pelo Protótipo	51
Tabela 5: Material para a estrutura mecânica (R\$).....	60
Tabela 6: Material para a estrutura eletrônica (R\$).	60
Tabela 7: Diagrama de Gantt.....	61

1. Introdução

O desenvolvimento da área da medicina é uma das principais bases para a sociedade, contribuindo para a melhor qualidade de vida e aumento da expectativa de vida dos indivíduos em geral (BUNKER, 2001). Atualmente, a terapia farmacológica ou medicamentosa é uma das formas de tratamento mais aplicadas para a cura ou controle de doenças. Entretanto, paralelamente, o uso de medicamentos pode causar danos, inclusive incapacitantes e fatais, ao paciente, em decorrência da sua exposição a uma complexa malha de processos, tecnologias e interações humanas envolvidas (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2002a; GOBIERNO DE ESPAÑA, 2009; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2009).

Os danos e mortes evitáveis relacionados ao uso de medicamentos constituem um dos maiores desafios contemporâneos na área de saúde. De acordo com o relatório *To Err is Human: Building a Safer Health System*, publicado pelo *Institute of Medicine* em 1999, é estimado o número de 44 mil a 98 mil mortes como consequência de erros médicos no sistema de saúde americano, que é equivalente à queda de um avião de grande porte por dia. Estes erros tornaram-se a oitava causa de morte nos EUA, no ano de análise, superando as mortes de acidentes automobilísticos, câncer de mama e AIDS (INSTITUTE OF MEDICINE, 1999). Além disso, essa problemática é direcionada a outro ponto: os recursos, que poderiam ser usados na prevenção de doenças, na redução de custos de tratamentos e ampliação de acesso às tecnologias de saúde, acabam sendo gastos para correção dos problemas originados com o uso de medicamentos (BLOOM, 2003).

Esses erros de medicação têm diversas origens, tais como falta de conhecimento do paciente ou do funcionário, falta de treinamento, falta de controle no uso de medicamentos, excesso de trabalho dos profissionais de saúde, e a preponderância de um sistema comercial de distribuição, em que há promoção de medicamentos e obtenção de benefícios financeiros pela prescrição/venda de medicamentos, polifarmácia, judicialização, *disease branding* (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2002a, 2002c; ELLIOT, 2010). As maiores ocorrências, no entanto, encontram-se no ambiente hospitalar.

Para melhor compreensão do problema, define-se erro de medicação como o evento adverso relacionado a medicamentos (EAM), sendo qualquer ocorrência médica indesejável que acomete um paciente em tratamento farmacológico e que não necessariamente tenha relação causal estabelecida com este tratamento, podendo ser atribuído a causas evitáveis (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2002b). As consequências deste tipo de evento podem ser representadas por prolongamento da hospitalização, sequelas, danos físicos e psicológicos, e até óbito do paciente (BATES, *et al.*, 2001; MANSOURI *et al.*, 2013).

Os erros de medicação afetam anualmente milhões de pacientes em todo o mundo, representando de 1,5% a 35% de todas as doses administradas a pacientes internados (KHALILI *et al.*, 2011). Em países como a Holanda, Suécia e Espanha, esse problema é confirmado; em estudos recentes, verificaram-se a ocorrência de eventos adversos em 3 a 17% das admissões hospitalares, sendo que de 40 a 70% desses eventos observados poderiam ser evitados (SCHWAPPACH, 2011; ZEGERS *et al.*, 2011). Em países desenvolvidos há uma possível vítima de erro a cada dez pacientes admitidos em hospitais, sendo que a metade destes erros é recorrente e poderiam ser evitados caso a instituição adotasse medidas de prevenção (DEPARTMENT OF HEALTH, 2006).

No ambiente hospitalar, há geralmente dois grandes espaços, a farmácia e a clínica. Assim, para a correta utilização do medicamento, deve haver a comunicação clara entre o médico que

prescreve o remédio e o farmacêutico. Contudo, atualmente, como a produção de medicamentos é majoritariamente determinada pela indústria farmacêutica, o médico deve adaptar-se a esses medicamentos, provocando uma comunicação unilateral, por meio de prescrições, que muitas vezes não corresponde à farmacoterapia mais adequada ao paciente (BLOOM, 2003).

Na farmácia do hospital, ocorre a grande parte do processo de uso de medicamentos incluindo as fases de manipulação e dispensação de medicamentos, o que abrange desde a análise da prescrição até a avaliação dos resultados clínicos pelo farmacêutico (RICCI, 2008; WITZEL, 2008). Os erros de medicação podem ocorrer em todas as etapas relacionadas ao uso de medicamentos, sendo caracterizados por erros de prescrição, transcrição, manipulação, dispensação e administração (AGYEMANG; WACHTER, 2013).

Para realizar a análise das causas de EAM, é mais efetivo um planejamento do sistema de uso de medicamentos, para a prevenção do uso inadequado ou incorreto. Há muitas falhas no sistema como, por exemplo, erros de diagnóstico dos sintomas, prescrição inadequada, erros de dispensação, dentre outros. Portanto, a solução do problema envolve estabelecer um projeto para investimentos na segurança da aplicação do medicamento ao paciente com a reestruturação dos processos de assistência à saúde, de modo a possibilitar melhor comunicação e fluxo de informações entre farmacêuticos, médicos, enfermeiros e pacientes (BLOOM, 2003; SCHNIPPER, ROTHSCILD, 2012; BELELA *et al.*, 2011).

Neste contexto, portanto, no ambiente hospitalar, os processos de dispensação e preparação de medicamentos são fatores intrinsecamente relacionados à segurança de seu uso para os pacientes. A dificuldade de organizar os sistemas de dispensação de medicamentos e o surgimento de novas tecnologias em saúde contribuem para o agravamento de erros de medicação e de segurança dos pacientes (EARLY *et al.*, 2011). A ocorrência de erros de medicação nas etapas de prescrição, execução da prescrição e dispensação varia de 0,3 a 16,94 erros por paciente-dia (BATES *et al.*, 1995; PASTÓ-CARDONA *et al.*, 2009).

No Brasil, os medicamentos não são disponibilizados em embalagens primárias identificadas adequadamente para atender as necessidades do hospital. Para contornar o problema, os hospitais adotaram a prática de fracionar os medicamentos em apresentações distintas, identificando-os com etiquetas contendo as principais informações sobre o produto. Este processo é regulamentado por meio da Resolução RDC 67, da ANVISA, de 8 de outubro de 2007, que apresenta as normas para manipulação de medicamentos para uso humano, incluindo o preparo de dose unitária e unitarizada de medicamentos em farmácias privativas de unidades hospitalares com a finalidade de atender aos pacientes internados e racionalizar o uso de medicamentos (BRASIL, 2009). Desse modo, para medicamentos em formas farmacêuticas sólidas, o fracionamento pode ser realizado por recorte da embalagem primária, normalmente um *blister*, ou remoção do medicamento da embalagem primária, reembalagem e identificação. Na grande maioria dos hospitais, aplica-se este método, manualmente, com a identificação do nome do medicamento, a apresentação, a dose, a unidade da dose, o lote da manipulação e a data de validade.

A partir do que foi descrito, pode-se observar que o fracionamento de medicamentos em ambiente hospitalar provoca um dos problemas, dado pela dependência de funcionários para desempenhar esta função, aumentando a possibilidade de erros (MALTA, 2011). Além disso, nos casos em que a embalagem primária original do produto é violada, há o risco de alterações nos atributos de qualidade exigidos para a forma farmacêutica em questão, incluindo estabilidade físico-química, estabilidade biológica e exatidão e precisão das doses.

O fator humano foi a causa mais frequente para a ocorrência de erros de medicação, 54% (YAMAMOTO, 2011). Dentre os erros causados, foram identificados, nos estudos de Veloso

et al. (2011), o preparo dos medicamentos sem a utilização de técnicas de lavagens de mãos e de desinfecção de frascos e ampolas, preparo de medicamentos sem a conferência da prescrição médica, erros de dose, além das inúmeras interrupções durante o preparo da medicação.

Neste contexto, considerando os resultados sobre os erros de medicação, uma alternativa adotada foi a automação do sistema de uso de medicamento nos hospitais. A aplicação de tecnologias de informatização e automatização trouxeram diversos benefícios como: a diminuição de erros de medicação (LANDIS, 1993; OSWALD; CALDWELL, 2007; FRANKLIN *et al.*, 2008; RIBEIRO; TAKAGI, 2008), a redução das perdas de medicamentos e resíduos hospitalares, melhor controle dos estoques, melhor aproveitamento da capacidade de estocagem (FRANKLIN *et al.*, 2008), e a redução do tempo de dispensação (LANDIS, 1993, FRANKLIN *et al.*, 2008; WITKOWSKI, 2007; VOLPE *et al.*, 2012; JAMES, 2013).

Historicamente, os processos de manipulação e dispensação de medicamentos começaram a ser informatizados a partir da década de 1970; na década de 1980, introduziu-se o uso de códigos de barras e, nas décadas seguintes, a automação por meio de robôs. Atualmente, existem equipamentos automatizados capazes de realizar o preparo de medicamentos em dose unitária com vantagens em relação ao preparo manual, mantendo os atributos de qualidade destes medicamentos (OSWALD; CALDWELL, 2007).

Além disso, quando o processo (ou suas fases) de uso de medicamentos é informatizado ou automatizado, verifica-se a maior disponibilidade do farmacêutico para realizar atividades clínicas de maior valor como o cuidado ao paciente (AMERICAN SOCIETY OF HOSPITAL PHARMACY, 2010), uma vez que esse profissional não fica preso a tarefas repetitivas de fracionamento de medicamentos, por exemplo. Os serviços farmacêuticos clínicos incluem avaliação das prescrições, acompanhamento farmacoterapêutico, farmacovigilância, educação sanitária, participação em visitas clínicas juntamente com a equipe multiprofissional e condução de estudos de utilização de medicamentos, entre outros (WATCHER, 2013).

Há a tendência cada vez maior de a automação dos processos farmacêuticos hospitalares ser adotada em hospitais. Em 2011, 89% dos hospitais americanos possuíam dispensadores automáticos de medicamentos, e 11% incluíam robôs no processo de dispensação de medicamentos. A utilização de código de barras para controle dos processos de dispensação e administração também foram aplicadas para 34% dos hospitais, em que se verificavam a dose antes da dispensação, e para 50%, onde foi usada para administração do medicamento (PEDERSEN *et al.*, 2012). Entretanto, estas tecnologias ainda têm o custo relativamente alto (PEDERSEN *et al.*, 2009). Ainda não são comuns as soluções de sistemas de automação, com o enfoque em otimizar os recursos de projeto.

No Brasil, foi criado o Comitê de Implementação do Programa Nacional de Segurança do Paciente (CIPNSP) no Ministério da Saúde para propor e validar protocolos, guias e manuais voltados à segurança do paciente em diferentes áreas, dentre eles, o protocolo de prescrição, transcrição, dispensação e administração de medicamentos. No entanto, ainda não é dada importância para transformações estruturais dos processos em hospitais. No país, portanto, não há planejamentos expressivos para a implementação de sistemas de automação nos ambientes hospitalares, o que reforça a necessidade do estudo sobre essa tecnologia.

1.1. Objetivos gerais

Com o desenvolvimento deste projeto, será realizado um estudo sobre os efeitos de um sistema de automação quando relacionado à segurança do paciente, nos seguintes aspectos: a redução de erros na gestão de medicamentos; e a minimização do contato de pessoas aos medicamentos evitando contaminação microbiana. Considerando as vantagens da automação, pode-se obter diversos benefícios operacionais para o hospital, conforme visto anteriormente, como o controle de estoque de medicamentos e insumos, e redução de resíduos. Há, além disso, a eventual isenção do farmacêutico de trabalhos repetitivos, permitindo que este profissional se dedique mais ao exercício da farmácia clínica, para melhor análise da condição do paciente. Os melhoramentos citados estão vinculados a aprimorar os processos de manipulação e de dispensação de medicamentos nos diversos setores de um ambiente hospitalar.

Dessa forma, neste contexto, pretende-se gerar um modelo de Automação que inclui um novo conceito de dispensação de medicamentos em farmácias hospitalares visando a segurança dos pacientes. Como descrito anteriormente, o processo de medicação em hospitais pode ser dividido nas fases de prescrição, transcrição, manipulação, dispensação e administração. Dentre essas etapas, o projeto será focado no sistema de dispensação, pois é uma área, em que possui grande potencial para a automação.

O projeto em questão faz parte do projeto original, pretendido pela Escola Politécnica (POLI), Faculdade de Ciências Farmacêuticas (FCF), e o Hospital Universitário (HU). Considerando os limites de recursos e de tempo de um trabalho de conclusão de curso (TCC), o projeto realizará uma prova de conceito sobre o sistema de dispensação, verificando novas alternativas de automação.

Ressalta-se que o projeto não tem como objetivo a automação de outros processos que não a dispensação de medicamentos. Não é objetivo deste a construção de um protótipo que seja melhor do ponto de vista operacional ou econômico que as opções existentes no mercado para dispensadores de medicamentos, mas sim desenvolver uma prova de conceito de uma alternativa aos mecanismos existentes e compará-la com estes.

1.2. Motivação

A motivação principal é a de proporcionar maior segurança aos pacientes em hospitais, com uma melhor administração do uso de medicamentos. Este projeto será associado também ao aspecto econômico por realizar a análise dos sistemas de automação, disponíveis comercialmente e aplicados nos hospitais, de modo a buscar uma solução que possivelmente apresente menor custo e menor complexidade. Além disso, o projeto revela potencial técnico-científico, na medida em que será apresentada uma nova abordagem em aspectos de automação de processos em setores da sociedade onde os recursos da mecatrônica ainda são pouco explorados.

2. Revisão Bibliográfica

O presente projeto, por ter o foco em automação de um processo mecânico, apresenta a complexidade da integração em diversos âmbitos da engenharia, sendo que, portanto, compõe-se a revisão da bibliografia sobre o tema. Inicialmente, no item 2.1, descreve-se a aplicação de sistemas automatizados em hospitais, exibindo algumas soluções utilizadas no contexto atual. Em seguida, serão analisadas variadas tecnologias de natureza mecânica, eletrônica, de software, com o objetivo de auxiliar e justificar as escolhas feitas para a consolidação do projeto, nos itens 3 e 4.

Desse modo, esta seção serve ao leitor para mostrar as vantagens e desvantagens das mais diversas aplicações de sistemas que podem ser úteis para atingir ao modelo de dispensação automatizado em hospitais. Ressalta-se que tal configuração da estrutura da monografia tem a finalidade unicamente de organização das ideias e de clara separação entre as alternativas de solução e a solução proposta.

2.1. Estado da Arte

Segundo a *World Health Organization* (2009), o incremento nas pesquisas sobre segurança do paciente é fundamental, pois permite mensurar os erros, entender as causas, desenvolver soluções, avaliar o impacto, e transformar as melhorias em políticas e práticas.

Neste contexto, a automação do sistema de uso de medicamento nos hospitais tornou-se uma das principais opções para proporcionar melhorias nessa esfera da sociedade. Com essa tecnologia, além de diminuir as taxas de erro de medicação (LANDIS, 1993; OSWALD; CALDWELL, 2007; RIBEIRO; TAKAGI, 2008), melhorar o controle de estoque (FRANKLIN *et al.*, 2008), foi possível minimizar a contaminação na preparação de injetáveis (CLUCK *et al.*, 2012), reduzir perdas de medicamentos e resíduos hospitalares, diminuir a exposição dos trabalhadores a produtos químicos, trazer maior satisfação da equipe de farmácia e de enfermagem (COTE; TORCHIA, 1989; HYNIMAN, 1991; LANDIS, 1993; PERINI; VERMEULEN, 1994; BOREL; RASCATI, 1995; FRANKLIN *et al.*, 2008; ALVAREZ DIAS, *et al.*, 2010; KNOER *et al.*, 2010; ROCHAIS; ATKINSON; BUSSIÈRES, 2013; ROCHAIS *et al.*, 2014) e reduzir o tempo de dispensação (LANDIS, 1993, FRANKLIN *et al.*, 2008; WITKOWSKI, 2007; VOLPE *et al.*, 2012; JAMES, 2013).

Foi feito o levantamento de dados sobre equipamentos automatizados, utilizados no processo de dispensação de medicamentos. Há dois tipos de sistema de automação mais aplicados em hospitais: sistema de separação automática de medicamentos sólidos orais acondicionados em embalagens unitarizadas; e dispensador automático de medicamentos psicofármacos. A seguir, será feita a análise desses dois sistemas, representados por produtos encontrados no mercado.

2.1.1. Sistema automatizado de carregamento e dispensação de medicamentos

A SwissLog é uma empresa especializada em produtos de automação para hospitais. Dentre os produtos oferecidos, há o PillPick Light, um conjunto de módulos interligados que abrange as funções de carregamento de medicamentos até a sua dispensação (Figura 1).



Figura 1: Produto PillPick Light. Fonte: SwissLog (2015).

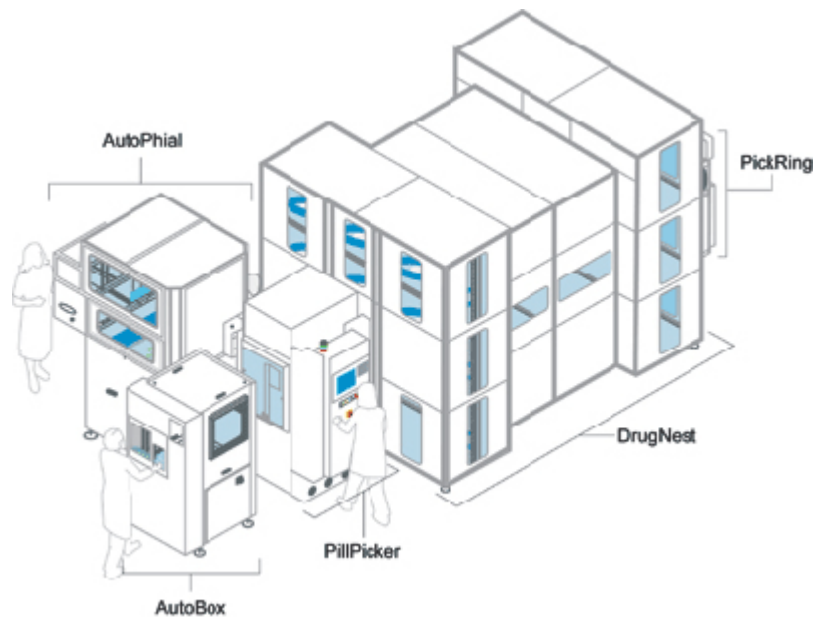


Figura 2: Diagrama das posições de cada módulo. Fonte: SwissLog (2015).

Tal produto é composto por 5 unidades principais, sendo divididos em 6 módulos e 2 estações de operação no total. As cinco unidades podem ser observadas na Figura 2 e são descritas como:

- Box Station – Recipientes para armazenagem de medicamentos.
- AutoPhial – Dispositivo automático para carregamento dos recipientes do Box Station.
- PillPicker – Robô para a separação automática de medicamentos sólidos orais envolvendo a organização das unidades, acondicionamento em embalagens unitarizadas, ou seja, com uma dose do medicamento.
- DrugNest – Armazém automatizado para manuseio e armazenamento dos medicamentos unitarizados.

- PickRing – Máquina vinculadora que forma anéis contendo o conjunto completo do tratamento do paciente, em uma única unidade.

Além disso, há diversos robôs envolvidos como recursos entre as estações, como vistos nas Figura 3 e Figura 4. Percebe-se a complexidade desses equipamentos, com relação ao mecanismo, controle, e programação para executar essas tarefas, e isso torna o produto mais caro. De acordo com a empresa, o módulo tem custo total (aquisição, instalação e manutenção do produto) de €1.725.000,00, o que representa um investimento de alta grandeza, além das dimensões requeridas para a instalação.

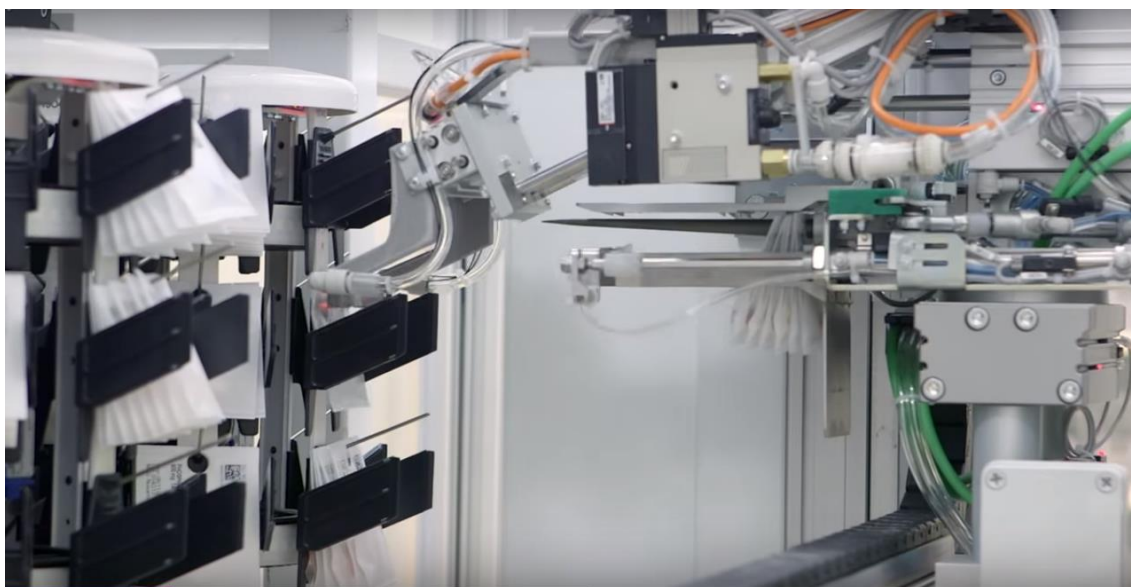


Figura 3: Robô SINGLEPILL para armazenar e retirar as doses unitarizadas. Fonte: SwissLog (2015).

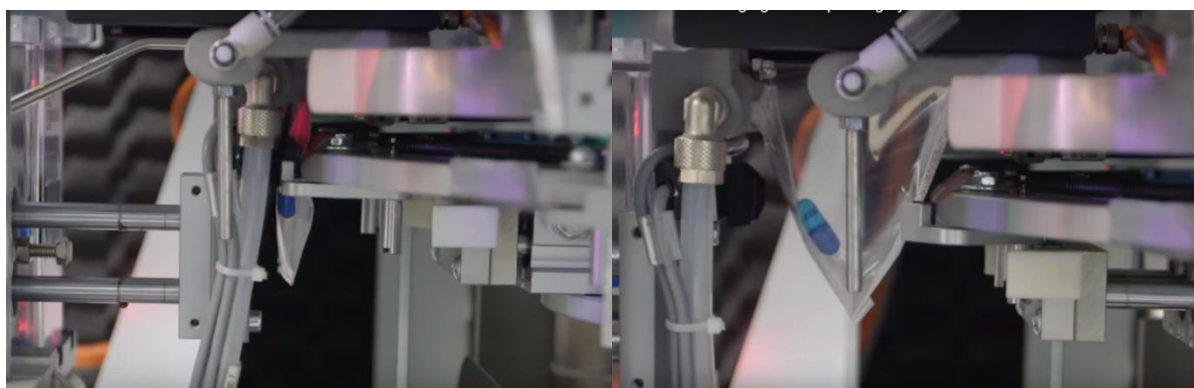


Figura 4: Robô PillPicker para unitarização de medicamentos. Fonte: SwissLog (2015).

2.1.2. Sistema de dispensação automático

A SisnacMed é uma empresa nacional que atua no segmento hospitalar.

Com relação à automação, o produto desenvolvido pela empresa tem como função somente o gerenciamento do inventário de medicamentos, tendo como o foco o controle e segurança do estoque. O sistema de dispensação é mais simples que o sistema desenvolvido pela SwissLog. O produto Supply Point tem como princípio um armário eletrônico, com 19 tipos diferentes de

gavetas, onde estão estocadas embalagens unitarizadas de cada medicamento, conforme o tratamento do paciente. Toda a unidade é controlada por um sistema de segurança, por meio de um monitor (Figura 5 e Figura 6).

De acordo com a empresa, o módulo tem custo total (aquisição, instalação e manutenção do produto) de R\$130.000,00, o que representa novamente um custo alto para a utilidade do equipamento.



Figura 5: Produto Supply Point. Fonte: SisnacMed (2015).



Figura 6: Exemplo de uso do Supply Point. Fonte: SisnacMed (2015).

No contexto atual, o desenvolvimento da tecnologia dos sistemas para automatização do processo de dispensação, principalmente, ainda não está consolidado. Desse modo, verifica-se a possibilidade em criar um sistema de armazenamento e dispensação de medicamentos com um melhor desempenho e de melhor custo.

2.2. Mecanismo para liberar apenas um medicamento por vez

A partir dos objetivos descritos na seção 1.1, foi realizada a busca de novas alternativas para realizar a função de dispensação de objetos, tal como seu armazenamento. Verificou-se que o sistema usado amplamente em dispensadores de máquinas de venda automática - “*vending machines*” – tem duas vantagens favoráveis para o projeto: a pouca complexidade para a fabricação de sua estrutura; e a flexibilidade na escolha de materiais que a compõem. Foram levadas em consideração a possibilidade de usar o mecanismo de dispensação de uma “*vending machine*” e a forma como são armazenados os objetos. Esses conceitos serão analisados com maior extensão a seguir.

Nessa seção, serão avaliados os diferentes tipos de mecanismos de liberação de *containers* do tubo, os mesmos serão analisados de forma a determinar o melhor ou o mais adequado para este projeto. Desse modo, serão mostrados quatro mecanismos, sendo três deles rotativos e um prismático.

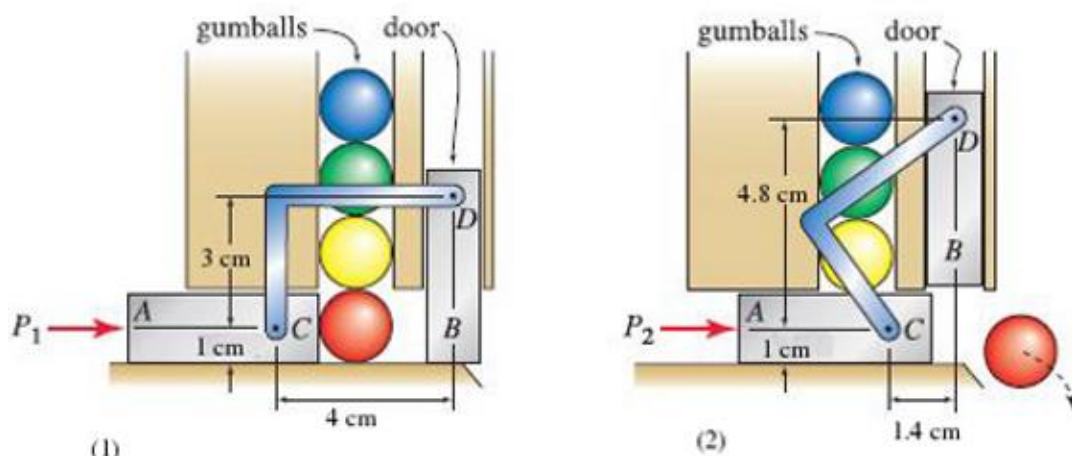


Figura 7: Mecanismo Prismático para liberação de container (Imagem retirada de <http://i.stack.imgur.com/aRqlf.png>).

No primeiro mecanismo, apresentado na Figura 7, pode-se perceber que a partir da movimentação linear da guia AC, movimenta-se o container circular ao mesmo tempo que eleva a guia BD, liberando dessa forma apenas um medicamento.

Outro tipo de mecanismo que pode ser utilizado é o da Figura 8, retirado da patente “US6964355 B2 – DRY FOOD DISPENSING SYSTEM”. Esse é um mecanismo rotativo que libera um ou mais *containers* por vez dependendo de como for dimensionado. Ele contém diversas pás o que permite o armazenamento de um número máximo de *containers* no espaço entre as pás do mecanismo. Ele é muito utilizado em vasilhas de cereais e alguns “dispensers” de gelo.

Basicamente, a mesma ideia pode ser encontrada de diversas formas e com implementações mais ou menos complexas, como por exemplo na patente europeia “EP0087141A2 - A drinking cup feeding device for an automatic vending machine”.

Apesar de essas patentes serem novas (foram concebidas nos últimos 15 anos) percebe-se que a ideia de um mecanismo rotativo para controlar a saída de itens de um armazenador, de um silo, é uma ideia antiga. Por exemplo, uma das citações da patente “US6964355 B2” é a patente “US 1022774 A –Dispenser”; esta patente é de 1911 e já apresenta um sistema de controle de saída de itens de um silo através de um mecanismo rotativo muito similar ao mostrado nas patentes mais modernas.

Outro mecanismo observado foi o fuso (Figura 9). Através do fuso se pode controlar facilmente o número de medicamentos que são liberados. Esse mecanismo está presente na maioria das “Vending Machines” de produtos comestíveis e de bebidas. Existem diversas patentes que apresentam ou mostram alguma forma de implementar essa ideia, como por exemplo a patente “US 3601281 A - Vending machine with screw conveyor-type cellular magazine”.

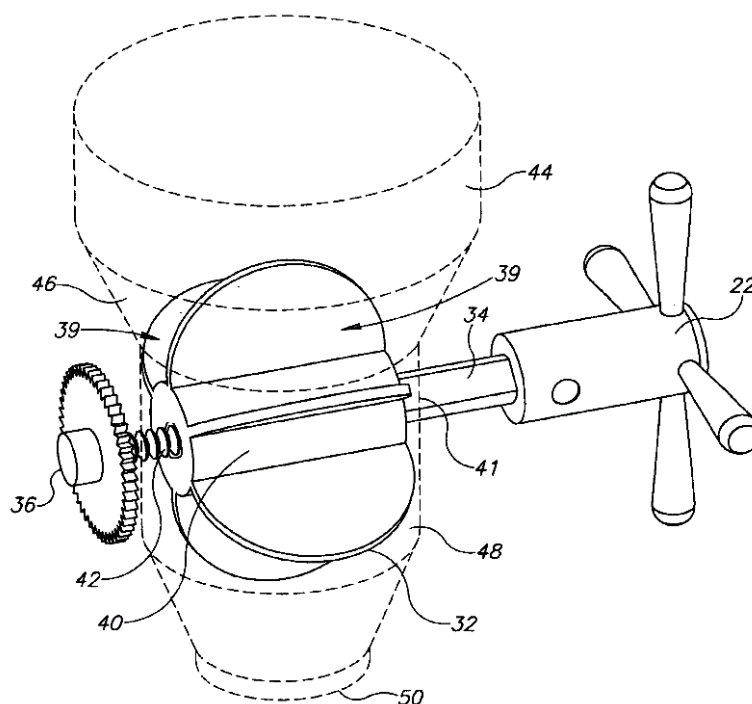


Figura 8: Mecanismo para liberação de containers (retirado de US6964355 B2).



Figura 9: Exemplo do mecanismo de liberação com múltiplas pás utilizados em equipamentos do dia-a-dia (Imagem retirada de <http://i.stack.imgur.com/Ab4YPm.jpg>).

Por fim, há a patente americana *US7359765 B2* para um dispensador eletrônico de pílulas, cujo sistema geral pode ser visto na Figura 10. Disposto entre as rampas 170 e 172, o mecanismo de dispensação é descrito como uma estrutura rotativa com duas cavidades diametralmente opostas entre si, com dimensões para um tipo de medicamento pré-estabelecido, P. Um sensor é configurado para detectar se há ou não uma pílula P no mecanismo, e assim, caso detectado, um motor solidário à estrutura gira até liberar o objeto para a rampa seguinte. A detecção da pílula P pode ser feita por um sensor de movimento, de distância, por botão interruptor etc. Comparado com os outros sistemas apresentados, este último mostra ser mais simples e de fácil construção para o projeto.

Apesar de terem sido indicados apenas quatro mecanismos, existem diversos mecanismos que podem ser construídos para atingir o mesmo objetivo.

Um exemplo desses outros mecanismos que atingem o mesmo objetivo é o sistema padrão de “*vending machines* de balas e brinquedos” que estão presentes em supermercados e *shoppings centers*. Tal mecanismo é constituído por basicamente duas partes, sendo um prato interno e um prato externo furados. Quando esses furos ficam concêntricos existe a liberação de *containers*. Para evitar que mais que um *container* seja liberado, essas máquinas possuem um sistema de molas e uma saída limitada. Esse mecanismo, portanto, não foi considerado para o projeto, por ser mais complexo que os outros e não apresentar nenhuma vantagem significativa em uma visão inicial.

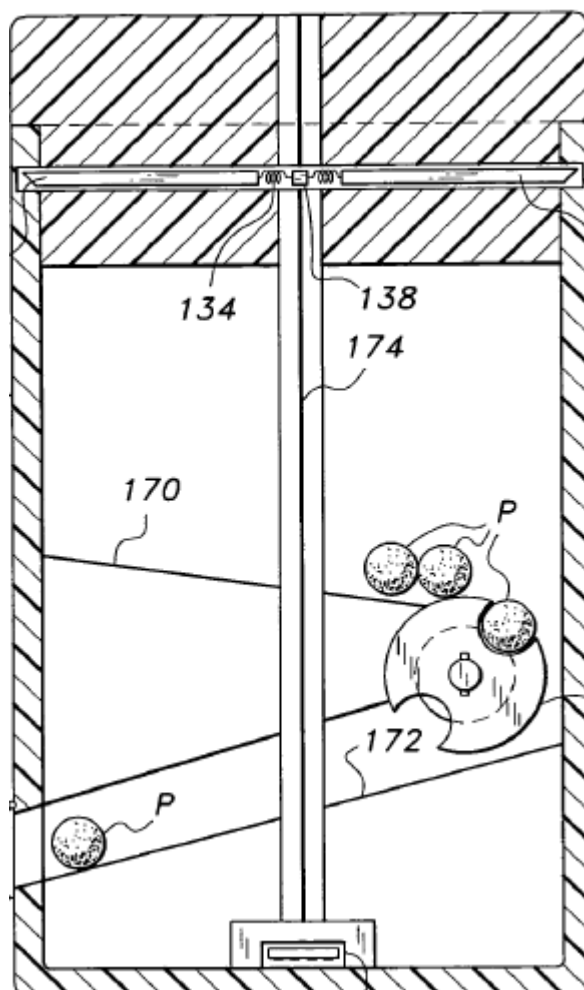


Figura 10: Mecanismo para liberação de pílulas (retirado de US7359765 B2).

2.3. Componente para identificação de medicamentos

Para a identificação de objetos, existem diversas ferramentas no mercado, sendo as principais por código de barras, QR Code, DataMatrix e identificação por rádio frequência (RFID). As três primeiras alternativas já são aplicadas em hospitais. O sistema de código de barras já é utilizado em diversos hospitais (GARCÍA BETANCES *et al.*, 2012), como por exemplo o Hospital Universitário da USP (HU), visitado pelos autores. O DataMatrix code também é muito utilizado, alguns fabricantes de medicamentos já fornecem os mesmos em embalagens identificadas com DataMatrix code. O RFID também já é usado de diversas formas dentro de hospital (BANKS *et al.*, 2007).

As soluções por código de barras, DataMatrix e QR code serão tratadas como uma única solução, apesar das diferenças no *software* necessário e no equipamento de leitura, o funcionamento e os prós e contras são muitos parecidos, uma vez que o QR code e o DataMatrix apresentam um código de barras em duas dimensões, isto é, um código de barras matricial, enquanto o código de barras é em uma dimensão. O código é capaz de armazenar caracteres alfanuméricos (GARCÍA BETANCES *et al.*, 2012).

Vantagens do sistema por código de barras:

- Há muitas soluções já presentes em hospitais. Os medicamentos são cadastrados com maior agilidade no sistema do hospital, e o identificador pode ser integrado com o sistema já existente.
- Não há complexidade para a implementação dessa tecnologia. Não é necessário nenhum TAG especial (como o do RFID); o código de barras ou QR code pode ser impresso em superfícies de diversos materiais (VASSILYA *et al.*, 2016).

Desvantagens do sistema por código de barras (GS1 HPAC, 2012):

- O medicamento precisa estar orientado de forma correta para que se possa fazer sua identificação.
- Além da orientação do medicamento, muitos leitores não identificam o código de barras, dependendo do ângulo de leitura.
- O código de barras deve estar exposto na parte externa do objeto a ser identificado.
- A baixa qualidade da impressão do código de barras pode provocar problemas para a leitura quando escaneado.
- A forma do objeto, onde o código de barras é impresso, pode dificultar a leitura. No caso de uma esfera, o código de barras deve ser adaptado para ser impresso sem se deformar pela forma esférica do objeto.

A solução de RFID tem as seguintes vantagens:

- A identificação não depende da orientação do objeto, pois funciona a partir de reconhecimento do TAG por campos eletromagnéticos.
- A TAG pode estar do lado interno da esfera dado que não existe a necessidade de um contato visual entre o leitor e a TAG.
- A tecnologia é amplamente conhecida, tendo assim sua implementação facilitada.
- Valor econômico vantajoso em comparação com as outras opções citadas.

Desvantagens da solução de RFID:

- Necessidade de um TAG especial para armazenar os dados (VASSILYA *et al.*, 2016).
- Possibilidade de identificar TAG indesejável, dependendo do alcance mínimo determinado pelo conjunto leitor-TAG.

Neste projeto, optou-se por utilizar o sistema de RFID. Um dos motivos é que não há nenhuma restrição de orientação ou posição do TAG no interior da esfera para sua identificação. A única condição é a proximidade com o leitor RFID. Dentre os produtos disponíveis no mercado, houve poucas opções por conta do custo, limitando-se a um conjunto leitor-TAG RFID de pequeno alcance com a frequência de operação de 125 kHz (Figura 11). O leitor é da Neoyama AKRFIDCI12-125K-V2, com um alcance de até 50 mm. No entanto, com o TAG disponível, disco de 16 mm de diâmetro e 1,85 mm de espessura, o alcance é menor que 20 mm. O outro motivo para o uso dessa tecnologia é devido a essa limitação da distância, que elimina a possibilidade de identificar qualquer outro TAG por engano.

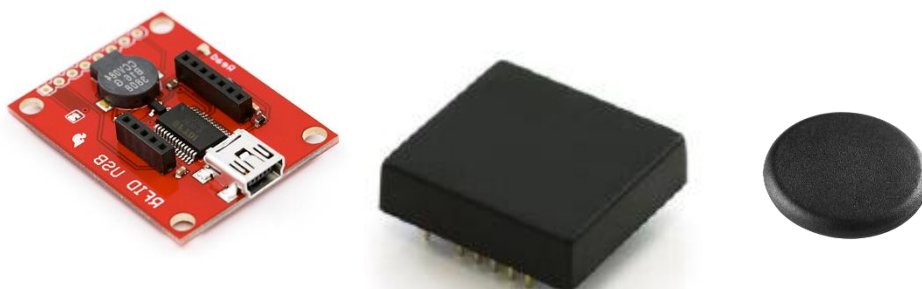


Figura 11: Conjunto RFID para o projeto. (Fontes: multilogica-shop e Neoyama).

2.4. Componente controlador do sistema de automação

O controlador tem a função de manipular os dispositivos de atuação, de monitorar o funcionamento do sistema com sensores e de possibilitar a comunicação entre a interface homem-máquina, IHM. Para tal, é usual a aplicação de dispositivos integrados com micro controlador, como a plataforma Arduino. Este sistema em especial é de *hardware* livre com uma única placa, o que implica a acessibilidade do produto, que é de custo baixo, e de projetos para diversas aplicações em automação, pois são desenvolvidos constantemente novos modelos do mesmo sistema com melhorias, abertos para todos. A seguir, são apresentadas características técnicas dessa tecnologia, obtidas do site www.arduino.cc, no caso do Arduino MEGA 2560 (Tabela 1).

Tabela 1: Especificações técnicas do Arduino MEGA. Fonte: Arduino.

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	37 g

Atualmente, há facilidade de acesso a projetos de diversas formas de automação para o Arduino, como códigos de uso de um componente, bibliotecas criadas para integração com

outras interfaces. Além disso, na Tabela 1, observa-se que o Arduino é um dispositivo projetado para aplicações de pequenos projetos e protótipos. Por isso, sendo o objetivo desse TCC realizar somente uma prova de conceito, torna-se adequado o uso desse controlador para o sistema de automação.

2.5. Componente de detecção

Houve a necessidade de encontrar uma alternativa de solução para detecção da passagem das cápsulas esféricas. O objetivo seria obter a informação de que o sistema liberou a cápsula do estoque, garantindo que houve a dispensação do medicamento.

A seleção de um sensor, que pudesse realizar a função desejada, ficou limitada a duas alternativas, principalmente, devido ao custo do produto, que não pode ser muito elevado. Ambos são sensores óptico reflexivos (Figura 12). Eles são projetados com um diodo emissor de luz e um fototransistor receptor de luz. Se houver a reflexão da luz emitida sob um objeto, e for detectada pelo sensor, altera-se a tensão na “ponta de prova”. A principal diferença entre os dois sensores descritos a seguir é a distância mínima para detecção de um objeto.

O primeiro tipo de sensor é o TCRT5000. É um módulo mais simples e disponibiliza os dois componentes, o diodo e o foto transistor, isolados entre si. Assim, a alimentação deve ser feita separadamente, podendo ter a necessidade do uso de um amplificador operacional ou transistor para amplificar o sinal de saída. A distância máxima de operação é de 2,5 mm. Já o segundo tipo de sensor é o E18-D80NK-N. A distância máxima de operação é ajustável entre 3cm e 80cm, pois o sinal do LED pode ser modulado (Figura 13). Além disso, como observado na Figura 14, o sensor já possui um amplificador do sinal recebido no fototransistor. Apesar de ter custo maior que o TCRT5000, o sensor E18-D80NK já é um produto de aplicação direta, e pode ser instalado com facilidade, por causa da sua forma geométrica. O sensor TCRT5000, por outro lado, necessita de adaptação da estrutura do sistema ou da produção de uma placa de circuito específica para seu uso.

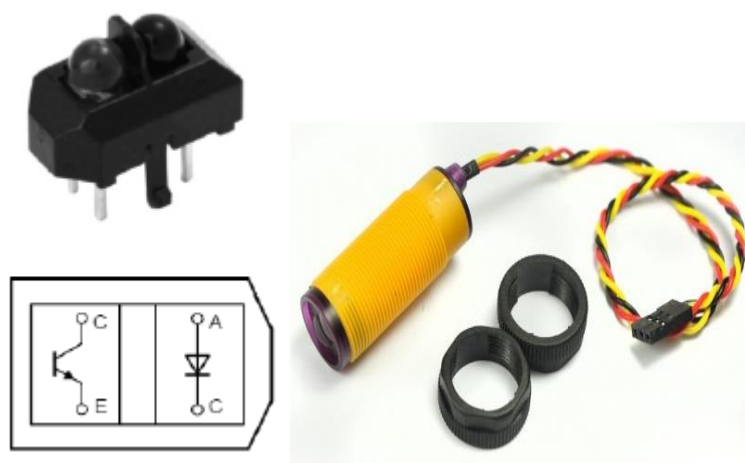


Figura 12: Sensor de detecção TCRT5000 (à esquerda) e E18-D80NK (à direita). Fonte: Vishay Semiconductors/ 61mcu.

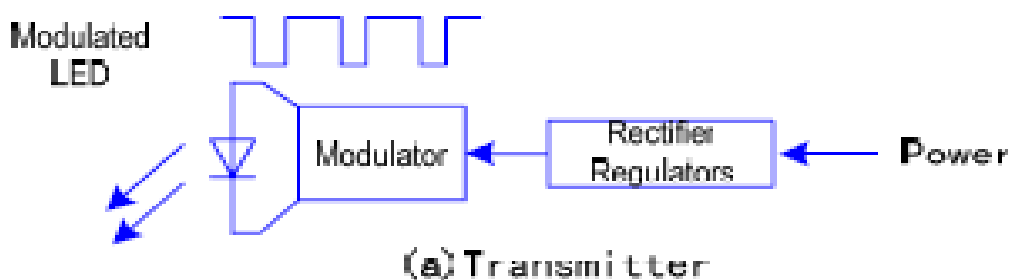


Figura 13: Componente emissor do sensor E18-D80NK. Fonte: 61mcu.

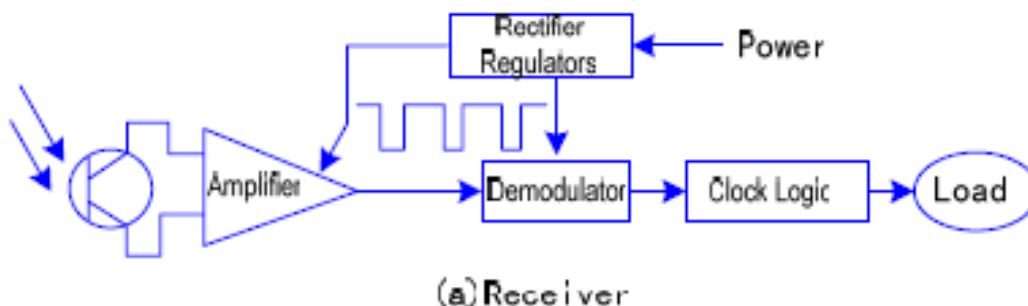


Figura 14: Componente receptor do sensor E18-D80NK. Fonte: 61mcu.

2.6. Componente atuador do sistema mecânico

Considerando os mecanismos para liberar as cápsulas com medicamentos, descrito no item 2.2, tornou-se necessário selecionar um atuador, de modo que pudesse ser feito o controle adequado e preciso do mecanismo. Os principais requisitos foram custo, “torque nominal” do motor e adaptação à estrutura mecânica do sistema. Foram analisadas, sob estes critérios de projeto, duas alternativas, o uso de motor-de-passo ou de servo-motor.

Conforme o desenvolvimento do projeto, houve a preferência pelo mecanismo da Figura 10. Para esta alternativa, o atuador estaria acoplado diretamente no eixo do mecanismo. Por isso, foi dada prioridade para os motores com eixo de fácil adaptação para facilitar a fabricação. Deve-se observar que a usinagem das peças foi um dos principais entraves para o progresso constante do projeto, devido às dificuldades de conciliar o tempo e o espaço para tal. Neste caso, o servo-motor possui uma variedade de opções de acoplar seu eixo aos mecanismos, enquanto o motor-de-passo é mais limitado.

Além disso, para as condições de operação de peso e de torque, os motores-de-passo encontrados no mercado não são tão acessíveis em relação ao preço, comparados aos servo-motores.

De acordo com a Tabela 2, o servo motor HX5010 apresenta características que se adequaram ao projeto de dispensador de medicamentos, por não se necessitar de alta tensão de operação e por garantir torque suficiente para o movimento do mecanismo e da cápsula.

Tabela 2: Especificações técnicas do servo HX5010. Fonte: Hextronik.

Dimensões	40mm x 28mm x 30mm
Tensão de operação	4.8 – 6V
Massa	39g
Velocidade nominal	.16sec/60°
Torque nominal	6.91 kg.cm
Largura da banda morta	4us

3. Projeto

Neste item, serão descritas brevemente as características fundamentais acerca do modelo de automação a ser desenvolvido e testado como prova de conceito, para tornar mais compreensível os critérios de escolha da solução proposta.

Reafirma-se que, novamente, a principal concepção do projeto é a de procurar alternativas que promovam menor complexidade e maior confiabilidade no processo de dispensação de medicamentos sólidos. Buscando atender, principalmente, às condições observadas nos hospitais atuais brasileiros, será considerado como requisito a qualidade do processo, dada pela diminuição de erros de dispensação dos medicamentos.

A solução proposta é modelar um sistema de dispensação de medicamentos sólidos, formado por um conjunto de tubos e esferas. Em cada tubo, é indicado um tipo de substância (A, B e C) e, no interior de cada um, as esferas com uma quantidade do medicamento estariam dispostas em fila. É feito, desse modo, o controle de estoque dos medicamentos, conforme a identificação, a data de validade e a quantidade total de medicamento no interior de cada esfera.

A estrutura final pode ser dividida em duas partes principais: o conjunto tubo-esfera e a mesa direcionadora, onde todas as esferas são conduzidas. Sobre o primeiro subsistema, há um suporte para o tubo, e nele está o mecanismo de dispensação, em que será acoplado um servomotor para seu movimento, liberando as esferas. É importante explicitar que tal mecanismo permite a passagem de uma esfera por vez, condicionando assim a dispensação exata de dado medicamento, além de possibilitar o controle do número de medicamentos em cada tubo. Assim, prossegue-se ao segundo subsistema, caracterizado por uma espécie de “rampa”, direcionando as esferas até os terminais de dispensação. Finalmente, o indivíduo pode retirar o que foi escolhido. A descrição completa desse processo é realizada na seção 3.1 sobre o sistema mecânico.

Com relação à identificação e ao cadastro dos medicamentos, foi proposto o uso da tecnologia de identificação por radiofrequência (*Radio-Frequency IDentification* – RFID). Um aspecto fundamental para seu uso no projeto é o de possibilitar o armazenamento e recuperação de dados de modo remoto sobre o medicamento, por meio das TAGs no interior de cada esfera.

E, por fim, o sistema de dispensação automatizado é definido como o controle integral da estrutura mecânica, por meio de um software. A interface Homem-Máquina (IHM) que permitirá ao usuário – um farmacêutico do hospital ou um gerente da farmácia- selecionar um conjunto de medicamentos de uma receita, por exemplo, e realizar a administração do estoque do hospital. Caso existam dois pedidos diferentes ao mesmo tempo o sistema utiliza a ordem de preferência “*First In First Out*” (FIFO) por questões de segurança, uma vez que qualquer erro no direcionamento de medicamentos pode ser muito grave.

Com respeito ao objetivo do projeto e suas limitações, o sistema de dispensação de medicamentos é restrito a três tubos e dois terminais para recebimento dos remédios. Deve-se levar em consideração que o projeto possui a duração de um ano e recursos financeiros limitados e, portanto, optou-se em realizar uma prova de conceito de automação. O projeto também considera que a máquina deve receber os medicamentos unitarizados dentro das esferas e que um agente externo deve informar ao sistema as informações de cada esfera como medicamento, lote, validade por meio da IHM, tal processo é dado o nome de “alimentação” neste projeto. O sistema também pressupõe que cada tudo conta apenas esferas do mesmo medicamento, mas caso haja um erro o mesmo está preparado para não enviar o medicamento errado ao farmacêutico.

Resumindo o que foi dito anteriormente nesta seção, pode-se dizer que o sistema em questão é um dispensador, composto por várias tubulações e esferas (Figura 15). Para cada medicamento, é designada uma tubulação. No interior de cada tubulação, os medicamentos são armazenados em esferas dispostas em uma fila. Assim, por meio de um terminal de comando, implementado por *software*, o usuário pode selecionar os medicamentos desejados e estes seriam depositados em uma rampa que seria direcionada até o usuário. É criada também a funcionalidade de coordenar a distribuição dos medicamentos para pedidos simultâneos. No caso da prova de conceito, há dois terminais, o que é suficiente para verificar a eficiência da máquina, por meio dos requisitos citados. Para definir o destino de cada medicamento, um motor será acionado a partir da identificação do mesmo via RFID.

Dessa forma, o projeto se subdivide em três grandes áreas: Mecânica/Estrutura, Eletrônica e Software que são detalhadas nas seções seguintes. Sendo que na primeira se trata a descrição da estrutura e dos mecanismos utilizados, na última se trata da estruturação da IHM e do comando do equipamento, enquanto a parte de Eletrônica integra as duas partes citadas anteriormente.

3.1. Mecânica

O sistema mecânico foi dividido em duas grandes partes, a primeira deve armazenar os medicamentos em tubos e conter um mecanismo que possibilite que apenas um medicamento seja liberado cada vez que o atuador é acionado, a outra parte compreende o mecanismo que irá captar essas esferas e as direcionará para o destino desejado.

As duas partes serão mostradas primeiramente de forma mais abrangente para posteriormente serem detalhadas. No corpo do projeto serão mostradas as imagens criadas utilizando o Autodesk Inventor 2016 que são mais elusivas e podem fornecer uma visão geral do projeto e de seus componentes, para consultar os desenhos técnicos veja o Apêndice C – Desenhos técnicos do projeto.

A Figura 15 a seguir ilustra um esboço inicial do conceito por trás do projeto. O projeto mecânico foi realizado de forma iterativa, de forma que os componentes apresentados são os utilizados em sua versão final.

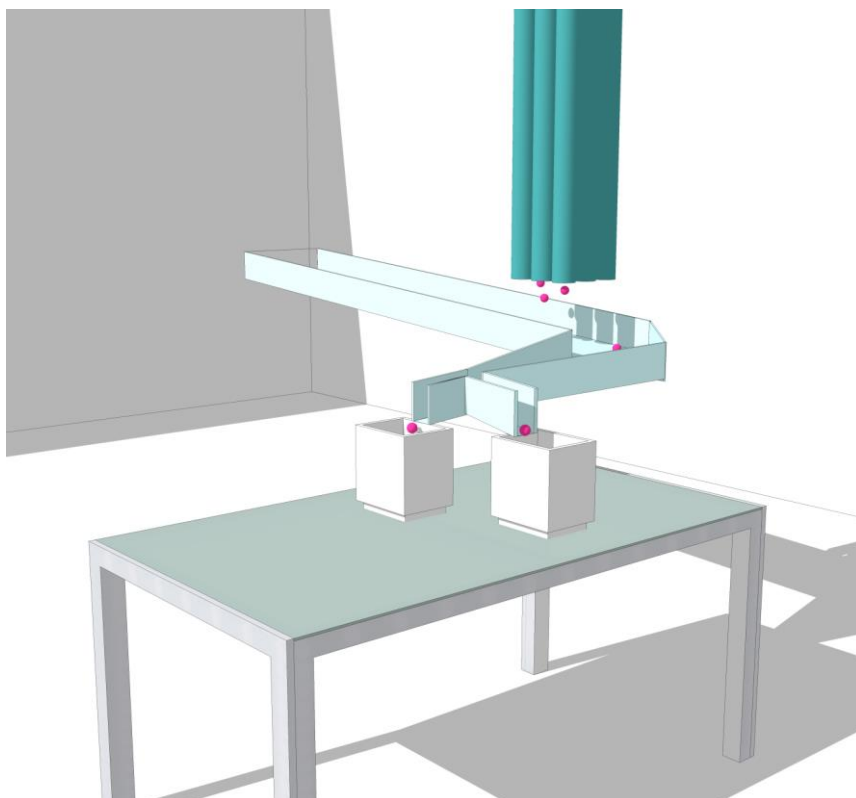


Figura 15: Esboço de alternativa de solução para o dispensador.



Figura 16: Vista Projeto em CAD em perspectiva.

Na Figura 16, pode-se observar basicamente três partes distintas, uma mesa com furos acoplada a uma rampa (em marrom claro), os mecanismos que suportam os tubos que contém os medicamentos e controla a saída dos mesmos (M1), e o mecanismo de checagem e

distribuição de esferas abaixo da mesa (M2). O mecanismo M1 será descrito detalhadamente no item 3.1.1, enquanto o mecanismo M2 será descrito no item 3.1.2.

3.1.1. Parte I – Armazenamento e dispensação de esferas

O mecanismo M1 é mostrado de forma explodida na Figura 17. Dessa forma pode-se observar de forma mais detalhada as partes que compõem o mecanismo.

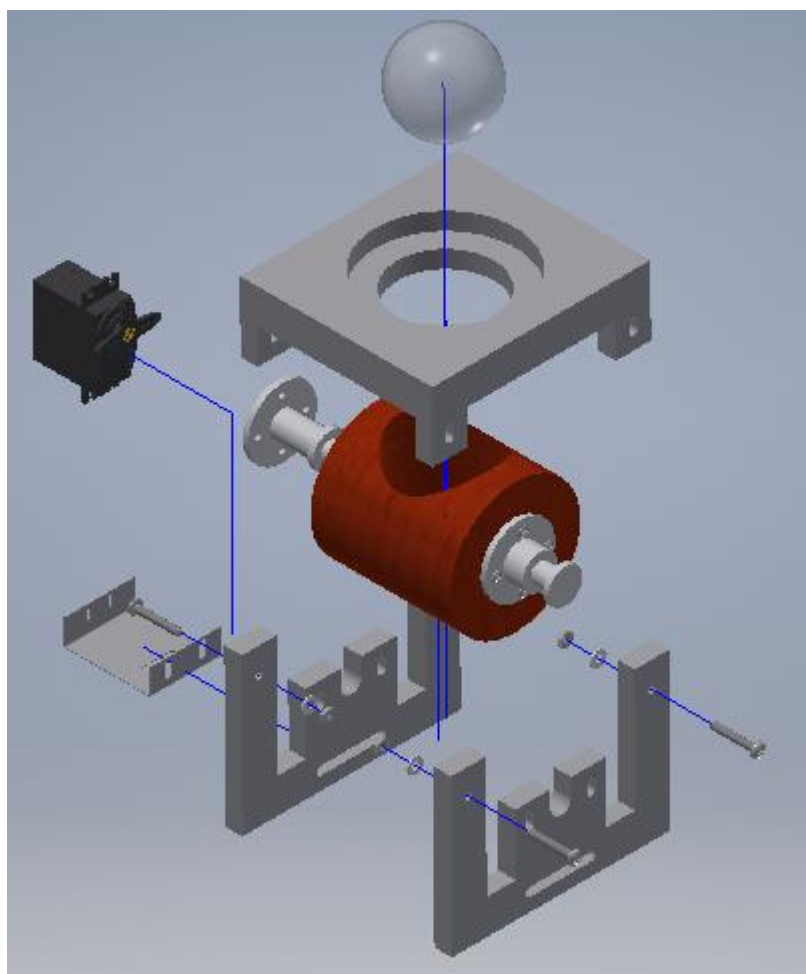


Figura 17: Vista explodida do mecanismo M1.

O M1 funciona da seguinte forma:

- i) Uma esfera fica armazenada na parte marrom escura, nessa situação a outra esfera fica contida entre essa parte e a parte superior e as demais ficam dentro do tubo (não mostrado na figura)
- ii) Quando um usuário requisita um medicamento, um sinal é enviado ao servo motor do mecanismo correspondente ao tubo que o contém.
- iii) O servo motor rotaciona o mecanismo, que libera a esfera que nele estava armazenado e mantém o segundo container entre a parte marrom e a parte superior.

- iv) O servo motor volta à posição inicial, o primeiro container da fila entra no mecanismo marrom e então o ciclo pode ser reiniciado.

3.1.2. Parte II – Checagem e Distribuição de esferas

Na Figura 18, é apresentado o mecanismo M2 de checagem e distribuição de esferas. Da forma como ele foi projetado, existe um espaço para que o sensor RFID seja encaixado. O mecanismo e seu encaixe com a rampa e a mesa foram dimensionados de tal forma que apenas uma esfera fica dentro do mecanismo, e quando ele se movimenta as demais esferas continuam na rampa, liberando assim apenas uma esfera por vez.

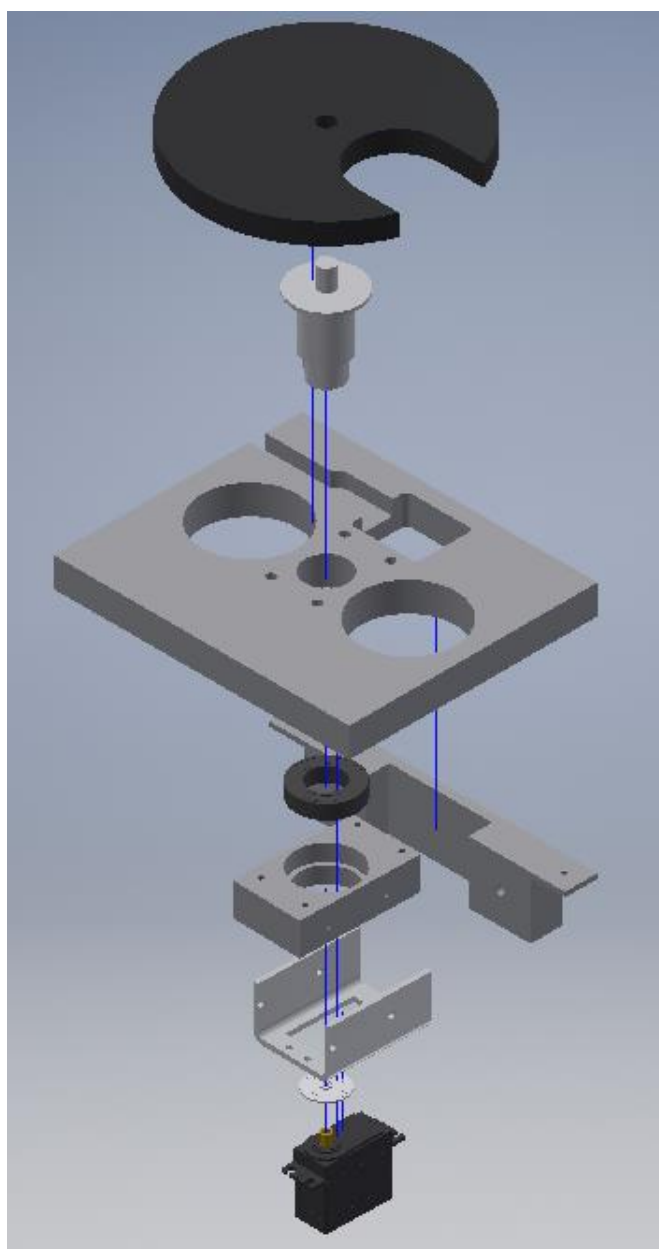


Figura 18: Vista explodida do mecanismo M2

O M2 funciona da seguinte forma:

- i) Uma vez que o mecanismo M1 liberou uma esfera ela rola na rampa até chegar ao mecanismo M2. Esse mecanismo terá o disco posicionado de tal forma que permite que a esfera fique assentada dentro do furo do disco (em preto).
- ii) Quando a esfera está assentada no furo ela estará em cima do sensor RFID que realizará a leitura do medicamento.
- iii) Dependendo da leitura do medicamento, caso seja o medicamento correto, esteja dentro da validade e não possua um lote problemático o servo-motor rotacionará o mecanismo para o terminal de saída, caso contrário o servo-motor rotacionará o mecanismo fazendo com que o medicamento vá para um outro terminal no qual o medicamento poderá ser descartado ou reaproveitado dependendo do problema apresentado.
- iv) Em seguida o mecanismo volta a posição inicial está pronto para repetir o processo com outra esfera.

3.2. Software

3.2.1. Conceito e Planejamento

Para se compreender o sistema e para planejá-lo foram utilizadas metodologias de desenvolvimento de “*software*” como por exemplo “*baby steps*” e “*pair programming*”, além da utilização de ferramentas como os diagramas UML, nos quais utilizou-se como referência a *versão 2.5 do OMG Unified Modeling Language* (<http://www.omg.org/spec/UML/2.5/>). Estas últimas foram utilizadas extensivamente para o planejamento e como guia na implementação do projeto, além de serem uma documentação visual do que foi feito.

Na Figura 19, o diagrama de casos de uso do sistema é apresentado. Nele pode-se observar quais são os atores do sistema, as ações que cada um pode exercer, e a relação entre eles. Pelo diagrama observa-se que o sistema possibilitará que o usuário faça a requisição de um medicamento (Pedir medicamento), que ele verifique e atualize o estoque de um dado medicamento e defina uma relação de qual medicamento está em cada tubo, além das funções básicas de autenticação e também de criação e remoção de usuários.

No diagrama apenas são apresentados os casos de uso externos, ou seja, aqueles que o sistema tem como entrada a interação de um ser humano ou de outro sistema. Isso significa que o sistema é mais complicado do que parece no diagrama de casos de uso uma vez que existem funções internas como por exemplo ativar um motor, perceber a resposta dos sensores de presença, receber e enviar informações ao micro controlador, além de decodificar e compreender os sinais das TAGs RFID.

Pelo fato de o diagrama não representar a complexidade do sistema de *software* como um todo, foi decidido complementá-lo utilizando o diagrama de componentes, em que serão retratados tanto os componentes que serão implementados na forma de sistema de informação em plataforma web, como os componentes de hardware que se comunicam com este (Arduino, sensores, atuadores, RFID).

De forma geral, então sabe-se que o diagrama de casos de uso retrata de forma macroscópica a visão do usuário sobre o sistema, e possibilita maior compreensão da parte implementada

como sistema de informação em plataforma web. Essa visão macroscópica mostra de forma visual os objetivos finais do projeto.

O diagrama de componentes (Figura 20) mostra todos os componentes nos quais se considerou subdividir o projeto, e já apresenta um nível de detalhamento maior, complementando assim o diagrama de casos de uso

Foi uma divisão de projeto separar o RFID dos demais sensores como um componente dado que sua complexidade é maior que a dos outros sensores utilizados.

Descrição dos casos de uso:

- i) Login/Logout – O usuário do sistema poderá acessar as funções por meio de uma autenticação via nome de usuário e senha;
- ii) Pedir Medicamentos – O usuário poderá requisitar um ou mais medicamentos através de uma tela no sistema que mostra os medicamentos cadastrados nos tubos. O medicamento pode ser selecionado via código de identificação, ou pelo nome. Para facilitar ainda existe a possibilidade de selecionar o tipo de medicamento e o sistema apenas mostrará os medicamentos que se enquadram no filtro determinado. O usuário só poderá efetuar essa ação caso esteja autenticado no sistema;
- iii) Verificar Estoque – O usuário terá uma tela em que ele pode visualizar o número em estoque de cada medicamento. Essa tela também deve conter informações dos medicamentos cadastrados no sistema como lote, validade, aplicações entre outros. O usuário só poderá efetuar essa ação caso esteja autenticado no sistema;
- iv) Atualizar Estoque – O usuário com permissão de administrador, devidamente autenticado, poderá modificar o número de medicamentos em estoque indicando que o tubo foi ou será carregado ou descarregado através de um processo manual;
- v) Definir Relação Tubo/Medicamento – Dado que cada tubo terá apenas esferas contendo o mesmo medicamento, o administrador autenticado terá uma tela na qual ele poderá modificar a relação de qual tubo armazena qual medicamento.
- vi) Adicionar farmacêutico – O administrador autenticado terá uma tela na qual ele poderá cadastrar outros usuários, no caso farmacêuticos.

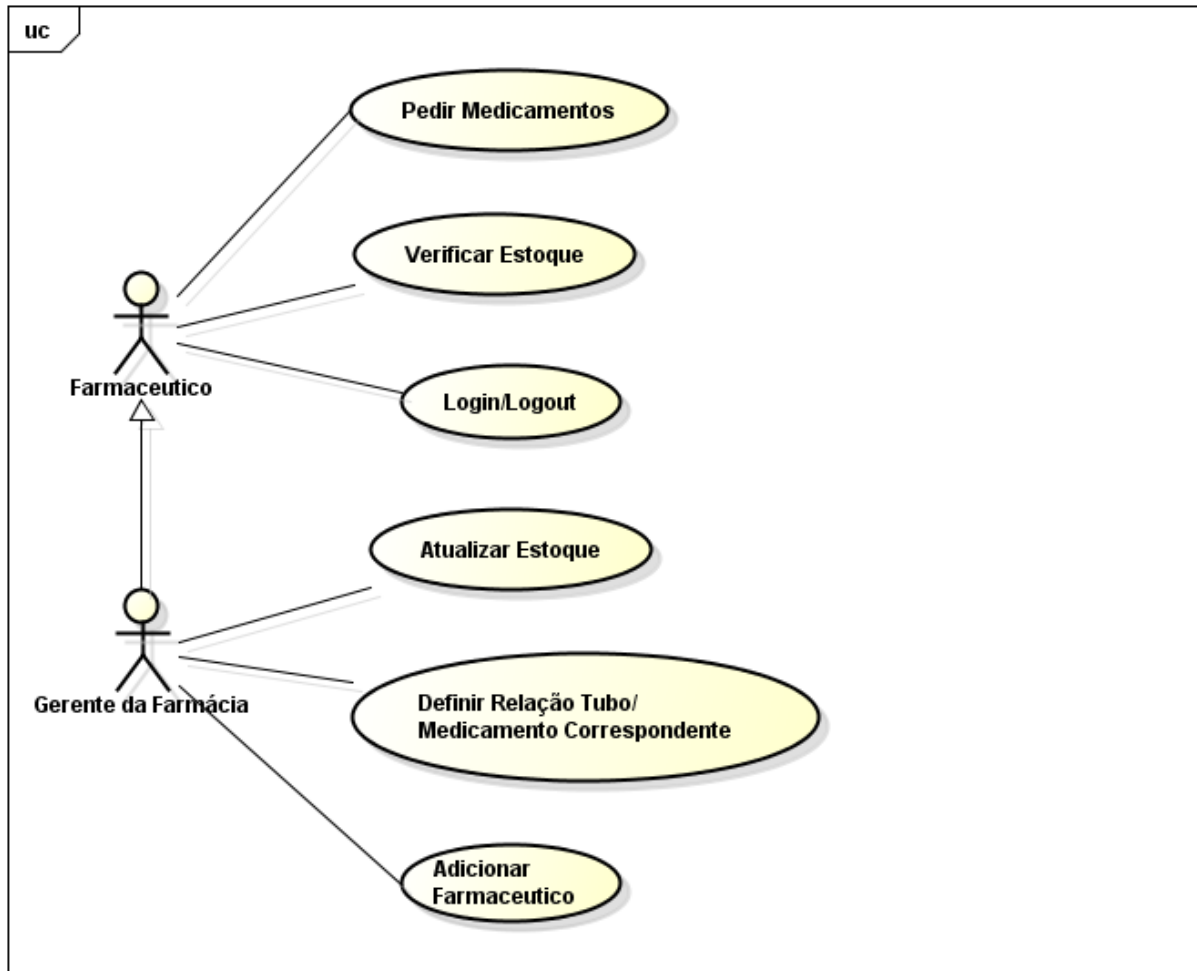


Figura 19: Diagrama de Casos de Uso do Sistema de Software

Componente de RFID

Esse componente tem a função de compreender a TAG de RFID, enviar o valor da TAG para o componente Arduino. Esse módulo deve possuir bibliotecas e funções compatíveis com o “*Hardware*” escolhido.

Componente de Atuadores

Esse componente tem a função de ativar todos os atuadores do sistema e também de desligá-los. O sistema terá um atuador para cada tubo além de pelo menos dois outros atuadores para parar o “*container*” para a leitura de RFID e liberá-lo em seguida, e outro para definir para onde o “*container*” deve seguir. Ele recebe comandos através do componente Arduino.

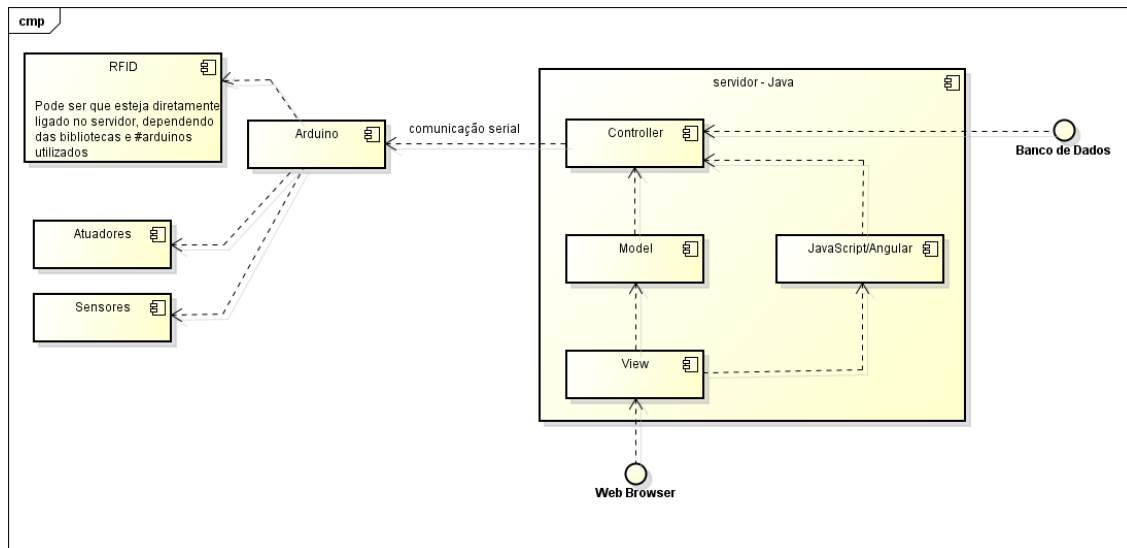


Figura 20: Diagrama de Componentes.

Componente de Sensores

Esse componente tem a função de perceber a mudança no sinal dos sensores de presença. Dessa forma ele deve ficar sempre ativo esperando alguma variação na entrada que o sensor envia para o componente Arduino.

Componente Arduino

Esse componente tem a função de conectar o Arduino ao servidor e executar a comunicação serial com ele, passando informações dos componentes dos sensores, atuadores e RFID.

Componente Servidor-Java

Esse componente é o maior componente do sistema, uma vez que ele é o sistema de informação em si. Ele tem 4 subcomponentes e se comunica com o banco de dados, com o componente Arduino e também com a “web browser”. Esse componente foi projetado utilizando a metodologia MVC (*model*, *view*, *controller*) que é a metodologia padrão de mercado e adotado como uma boa prática de programação. O componente ainda conta com um subcomponente de javascript/Angular que faz chamadas ao *controller* e apresentar informações de forma dinâmica ao usuário no “*view*”.

3.2.2. Detalhes Técnicos

Nesse tópico serão discutidos o modelo de dados do sistema e outros aspectos técnicos como bibliotecas e ferramentas utilizadas.

3.2.2.1. Modelo de Dados

O modelo de dados representa a relação entre as tabelas SQL do sistema. Dessa forma, têm-se as principais tabelas ligadas na parte de baixo da Figura 21 mostrando a relação entre

medicamentos e tubos, e temos uma relação na parte superior da mesma figura que mostra duas tabelas necessárias para a autenticação e *login* de um usuário no sistema. Essa segunda relação não é algo necessário, no entanto ela torna o sistema mais seguro uma vez que ele exige duas validações ao invés de uma para permitir o acesso de usuários a partes restritas.

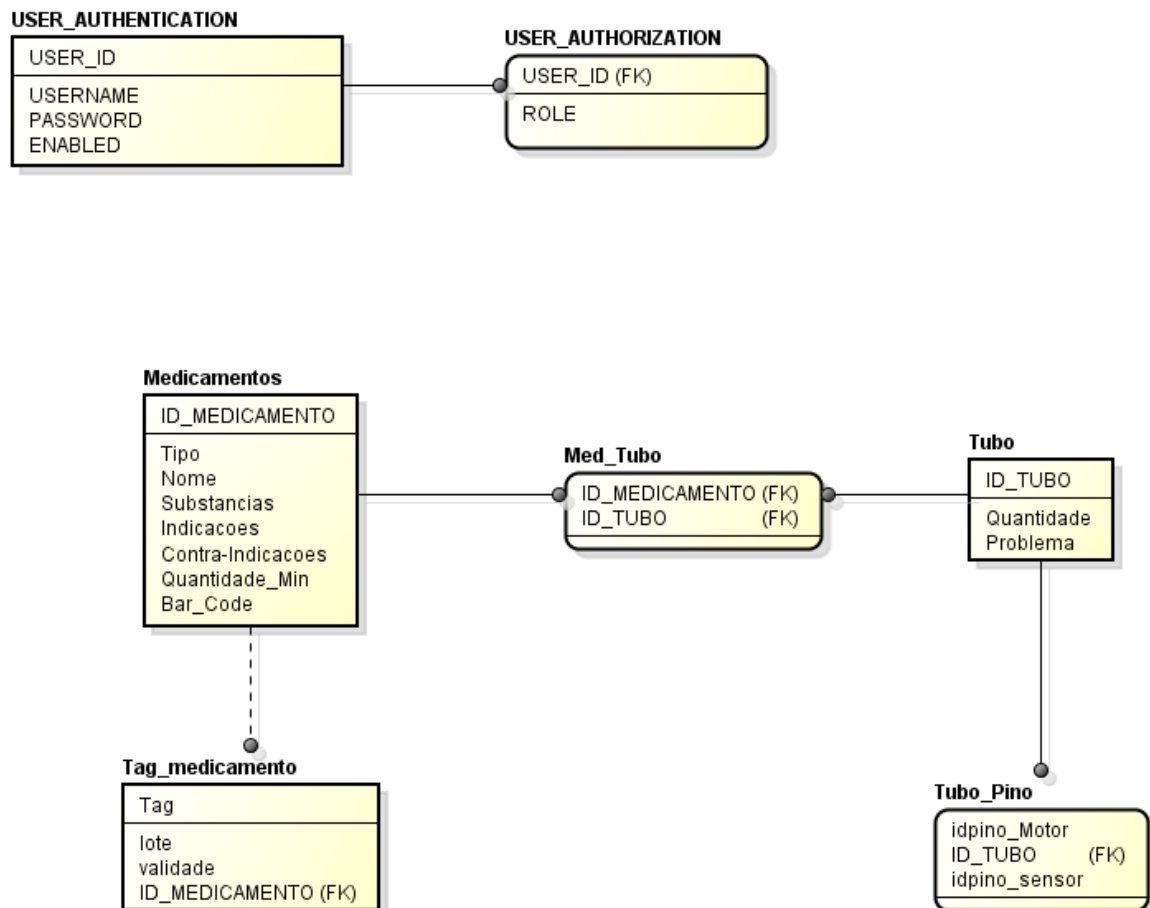


Figura 21: Modelo de dados do Sistema

3.2.2.2. Frameworks e Linguagens

Para a implementação do sistema utilizou-se JAVA na versão 1.8.0.4 em conjunto com o *framework* Spring (MVC *framework*) versão 3.0.2, Spring Security versão 2.0.4 e Hibernate versão 2.0.

Escolheu-se Java pelo fato de ser uma linguagem muito utilizada acadêmica e profissionalmente sendo muito robusta, e principalmente pelo conhecimento prévio dos membros do grupo nessa linguagem o que facilitaria a implementação. No entanto, nada impediria a adoção de outra linguagem de programação que atingisse os mesmos resultados.

O *framework* Spring foi escolhido por ser um dos *frameworks* mais tradicionais e mais utilizados de MVC em Java, sendo aplicado em estruturas comerciais da SAP conhecida por ser uma das maiores empresas de “*software*”, como por exemplo na plataforma de *e-commerce hybris* (<https://www.hybris.com/en/commerce/architecture-technology>), além do fato de um dos membros do grupo já ter experiência com essa tecnologia.

O Spring Security foi adotado de forma básica para implementar ferramentas de segurança para autenticação em Java. A utilização de tal “*framework*” é benéfica caso se queira construir um sistema mais robusto e mais seguro no futuro, sendo apenas necessária a customização de código referente a autenticação, e não toda uma mudança, setup e instalação da ferramenta.

Ainda existem outros *frameworks* do Spring que podem ser incorporados apenas adicionando os arquivos “.jar” uma vez que a estrutura da linguagem é a mesma do Spring MVC caso se deseje realizar o design de um sistema maior e mais complexo como por exemplo Spring Integrations caso o sistema se comunique através de serviços SOA. Isso mostra que o projeto pode ser escalado e utilizado em grandes sistemas, no entanto devido a alta complexidade da criação de serviços SOA os mesmos não serão utilizados.

O “*framework*” Hibernate foi adotado para facilitar e minimizar a utilização de código nos DAOs (“*data access objects*”), realizando mínimas mudanças nos DTOs (“*data transfer objects*”) para que estes estejam de acordo com o formato do Hibernate.

3.2.2.3. Biblioteca de Conexão com o Arduino

Adotou-se a biblioteca Ardulink que é uma das recomendadas no site do Arduino para integração em Java, que apesar de apresentar uma sintaxe mais complicada do que outras opções como Jarduino, a biblioteca Ardulink funcionou corretamente.

A biblioteca e informações encontram-se no site <http://www.ardulink.org/>; nele pode-se encontrar tanto tutoriais, fóruns e a documentação javadoc. Como no projeto foram utilizadas apenas as ferramentas presentes no core da biblioteca do Ardulink deve se ler a documentação <http://www.ardulink.org/javadoc/ardulink-core/index.html> caso necessite de mais informações sobre comandos ou códigos.

Para a implementação deve-se primeiro fazer o *upload* do *sketch* disponibilizado no *download* da biblioteca para o Arduino, note que existe um *sketch* para cada tipo de Arduino. Em seguida deve-se adicionar os arquivos JAR da biblioteca em seu projeto Java, além dos arquivos necessários para a comunicação serial, que são *LibusbJava.dll*, *RXTXcomm.jar*, e *rxtxSerial.dll*. Após a configuração desses arquivos basta importar a biblioteca no código Java.

3.3. Eletrônica

Conceito e Planejamento

O subsistema eletrônico é considerado como a integração entre as partes mecânica e *software* do projeto. Dessa forma, sua principal função é garantir o funcionamento correto do subsistema mecânico a partir dos comandos originados da interface homem-máquina (IHM). Isso é realizado por um conjunto de componentes eletrônicos intermediários, sendo dividido em dois módulos principais de controladoras (Arduino Uno e Mega), além do componente RFID. A arquitetura de *hardware* então é estabelecida como na Figura 22.

O primeiro módulo é o controlador de leitura dos sensores e de comunicação entre a IHM e o outro controlador. Conecta-se o Arduino ao servidor e executa-se a comunicação serial com ele, compartilhando informações dos componentes dos sensores e atuadores. Pela Figura 22, são utilizados três sensores de distância (E18-D80NK-N), descritos no item 2.5, com a função de detectar a passagem de uma esfera, verificando que houve a liberação do medicamento do tubo correspondente, informando o servidor. Além disso, o Arduino Mega recebe os comandos

dos atuadores e os envia à segunda controladora, o Arduino Uno. Isso foi feito por dois motivos: não sobrecarregar o Arduino Mega, considerando o controle de 7 componentes externos; e não foi encontrado suporte da biblioteca do Arduino para comunicação direta do servo-motor com o servidor via Java, sendo mais conveniente a conversão do comando em Java para a função do servo.

Já o segundo módulo, portanto, é o controlador com a única função de enviar os comandos para os atuadores, no caso os quatro servo-motores, para o movimento do mecanismo de liberação das esferas.

O outro sensor presente no sistema é o leitor RFID, cuja tecnologia foi descrita no item 2.3. Como a comunicação do leitor pode ser feita por USB-B diretamente no computador, decidiu-se separá-lo dos outros controladores.

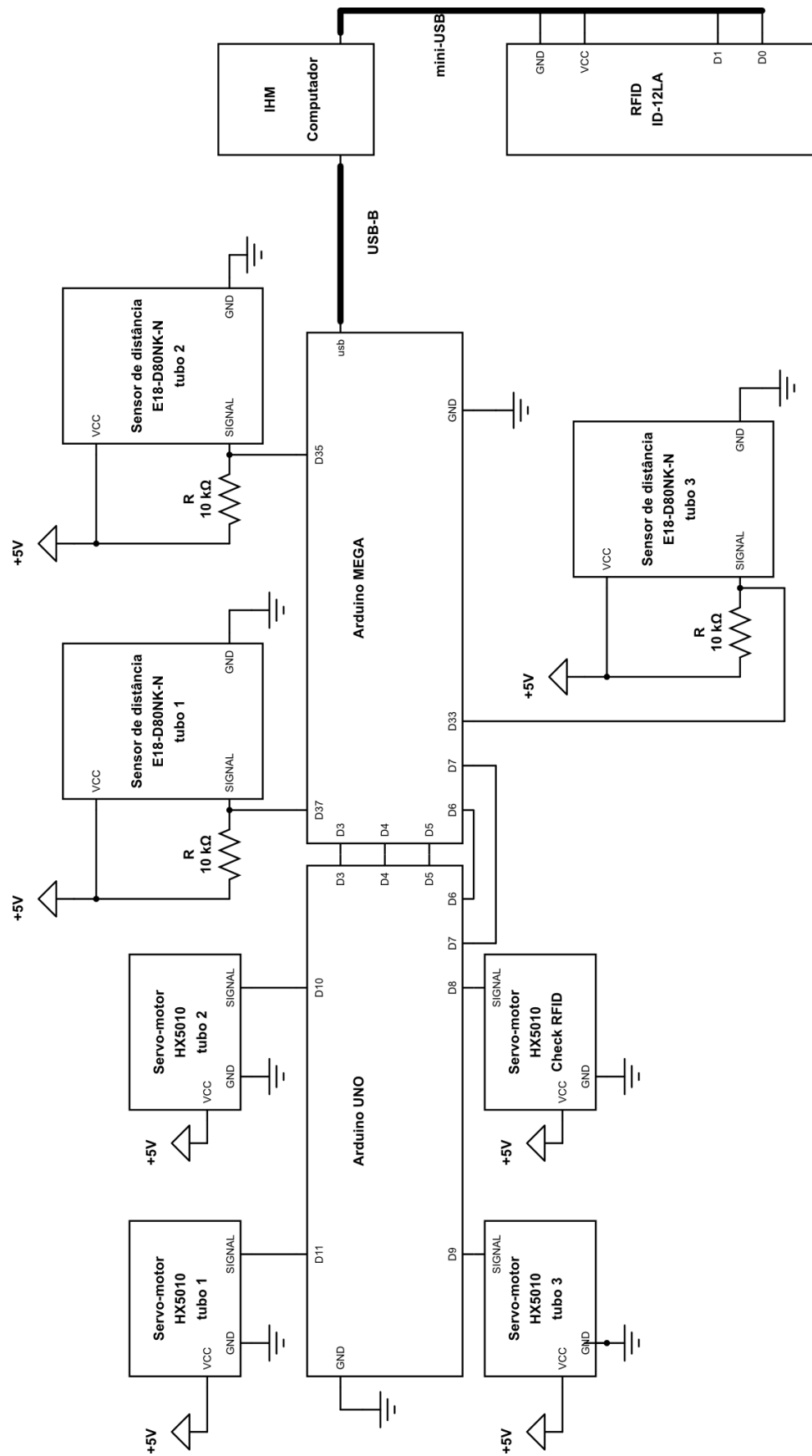


Figura 22: Circuito elétrico do sistema.

4. Implementação

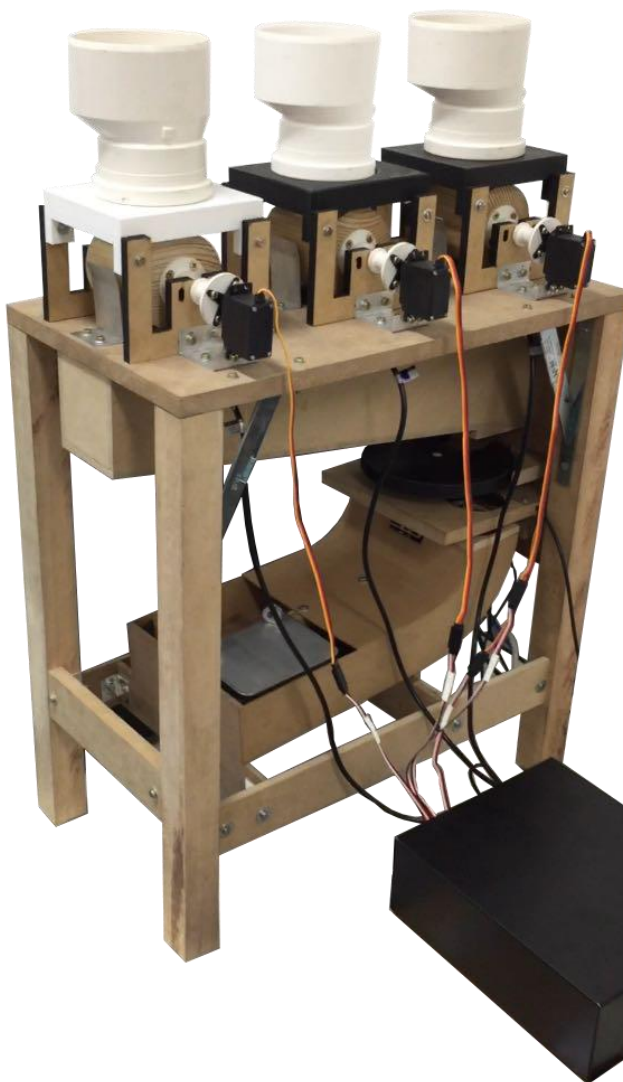


Figura 23: Protótipo do projeto de automação para dispensador de medicamentos.

Na Figura 23, mostra-se o protótipo final do projeto do dispensador automático de medicamentos. Nos itens a seguir, será apresentado o processo de implementação de todos os subsistemas.

4.1. Mecânica

O projeto foi planejado em CAD e teve partes construídas utilizando impressão 3D, mas a maior parte dos mecanismos foram desenvolvidos com madeira utilizando as máquinas disponíveis na oficina de máquinas operatrizes da Escola Politécnica da USP, principalmente os tornos, serras e furadeiras de bancada.

Nesta seção, serão apresentadas imagens do protótipo construído e detalhes da implementação mecânica, mostrando detalhes importantes para a fabricação e para o funcionamento do protótipo. A Figura 24 mostra uma visão geral do projeto, mostrando a construção e montagem tanto da mesa quanto dos mecanismos M1 e M2, omitindo apenas os tubos que devem ser montados no mecanismo M1.

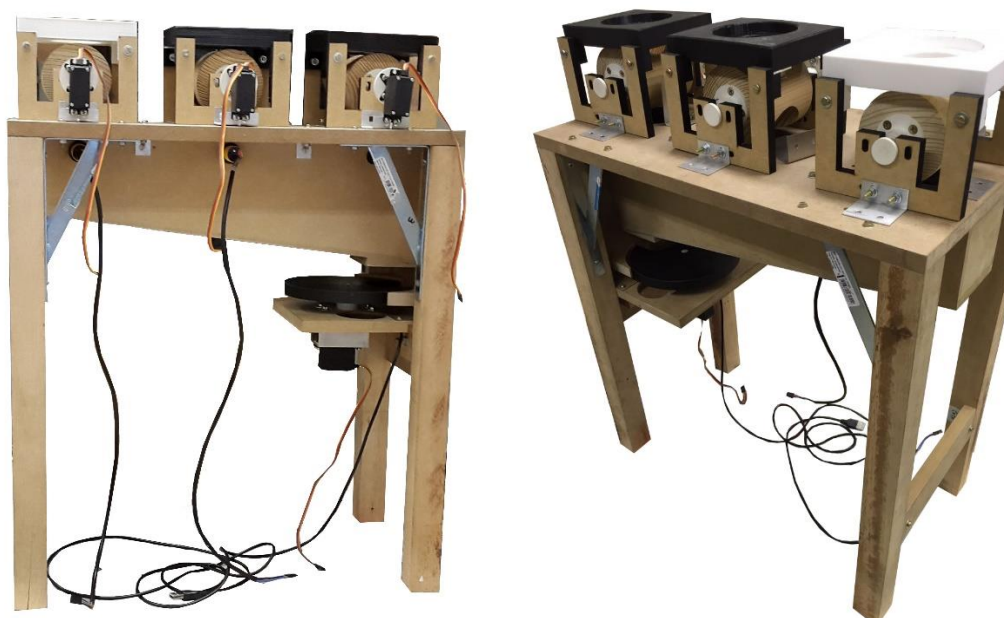


Figura 24: Conjunto mecânico do dispensador automático.

Armazenamento e dispensação de esferas

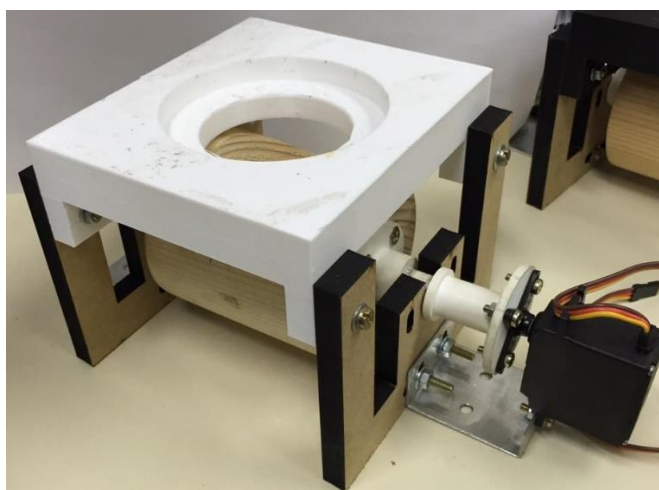


Figura 25: Estrutura do mecanismo para a liberação das cápsulas de medicamento.

Na Figura 25, este componente é responsável pela liberação das esferas armazenadas nos tubos, uma por vez. Isso possibilita que o sistema tenha o controle de que apenas o que é pedido é liberado, fazendo com que se tenha a primeira checagem e o primeiro mecanismo de proteção para que o protótipo entregue apenas o que é pedido nas quantidades pedidas. Além disso, por consequência tal mecanismo possibilita o controle de estoque, por controlar quantos medicamentos saem do tubo.

Mecanismo de checagem e distribuição de esferas

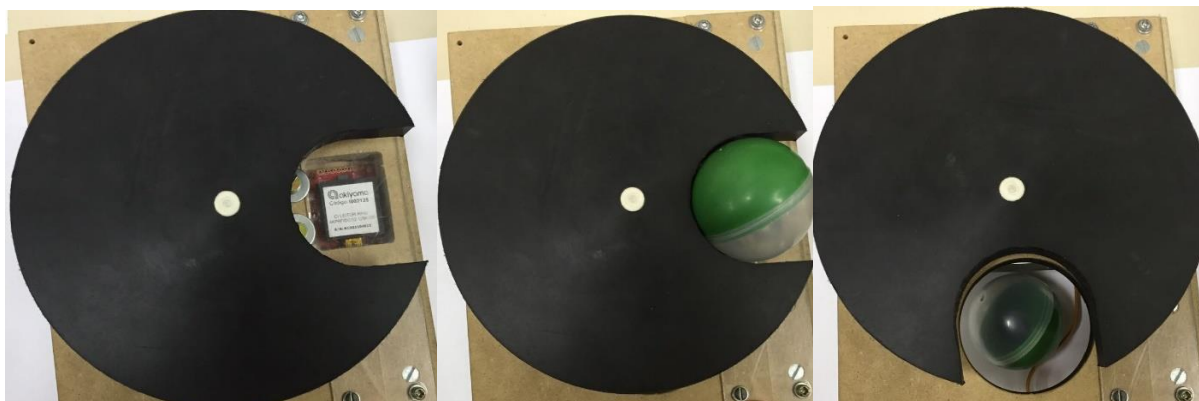


Figura 26: Simulação do processo de direção da esfera para o terminal.

A sequência de imagens da Figura 26 mostra as etapas de identificação de uma esfera e a obtenção dos dados do medicamento, por meio do TAG via RFID, e da conferência desses dados para direcionar a esfera para o terminal correspondente.

4.2. Software

Esse tópico pretende mostrar a IHM do sistema descrevendo detalhes da implementação e tem seu progresso na forma de storyboard do sistema com imagens reais, tela a tela desenvolvidas em HTML 5, com CSS e componentes Angular.js que se comunicam com o “Backend” programado em Java.

A primeira Página é a tela de Login, mostrada na Figura 27. Essa página tem um formulário básico de Login e um *link* para a Página de Recuperação de Senha. Esse formulário autentica o usuário no sistema acessando duas tabelas no Banco de Dados (vide Figura 21), a tabela USER_AUTHENTICATION na qual ele verifica o *login* e senha do usuário e verifica se o usuário está habilitado, em seguida o sistema verifica a Tabela USER_AUTHORIZATION que checa as permissões do usuário. Essa separação aumenta a segurança uma vez que as duas tabelas devem estar preenchidas para que um usuário se logue com sucesso no sistema. Os diferentes tipos de Permissão estão descritos no Diagrama de Casos de Uso (Figura 19).

Depois de Logado o usuário é direcionado para a Página de Pedido de Medicamentos, mostrada na Figura 28. Esta página tem as seguintes funcionalidades:

- 1- Botões de Navegação – Levam usuários para outras páginas do sistema.
- 2- Botão “Adicionar outro” – Permite que o usuário adicione outros medicamentos a serem enviados ao terminal.
- 3- Botão “Pedir Medicamentos” – Envia o formulário preenchido com medicamentos e quantidades ao sistema que processa essas informações para encaminhar os medicamentos ao terminal correto.
- 4- Mostrar os medicamentos disponíveis nos tubos e seus respectivos estoques.

Figura 27: Página de Login.

Tipo	Medicamento	Estoque Disponível
antibiótico	Claritin D	3
anti-inflamatório	nisulid	3
tranquilizante	Rivotril	3

Figura 28: Página de Pedido de Medicamentos.

Na Figura 29, é indicada uma mensagem de erro informando ao usuário sobre o caso de um pedido de uma quantidade maior de medicamentos do que o disponível no estoque. Este é um dos possíveis erros comuns que surgem em um sistema automático, quando é utilizado por usuários não familiarizados com esse tipo de tecnologia.

Senior Proj Home Navegação Login

Formulário de Pedido de Medicamento

Peça o medicamento que precisa por aqui

ERRO! O medicamento selecionado não tem quantidade suficiente

Tipo	Medicamento	Estoque Disponível
antibiótico	Claritin D	3
anti-inflamatório	nisulid	3
tranquilizante	Rivotril	3

Tipo Medicamento Quantidade

Figura 29: Exemplo de mensagem de possíveis erros comuns no uso de um sistema automático.

A Figura 30 e a Figura 31 mostram a tela de Dash Administrador. Apenas os usuários com papel de Gerente da Farmácia têm a capacidade de acessar essa página. Nela é possível atualizar estoque e a relação tubo/medicamento como mostrado na Figura 30, ou então modificar as informações de um dado medicamento, vide Figura 31.

O segundo formulário se comunica com a Classe Java *MedicamentosController* que realiza as ações de atualizar, adicionar ou remover medicamentos.

Senior Proj Home Layouts Sign Up

Dash de Administrador

Aqui você pode definir a relação medicamento - tubo , atualizar estoques

Atualize estoque e a relação tubo - medicamento

Tubo	Medicamento	Quantidade
1	clavulin	10
2	nisulid	10

Atualizar

Figura 30: Página de Dash Administrador Parte 1.

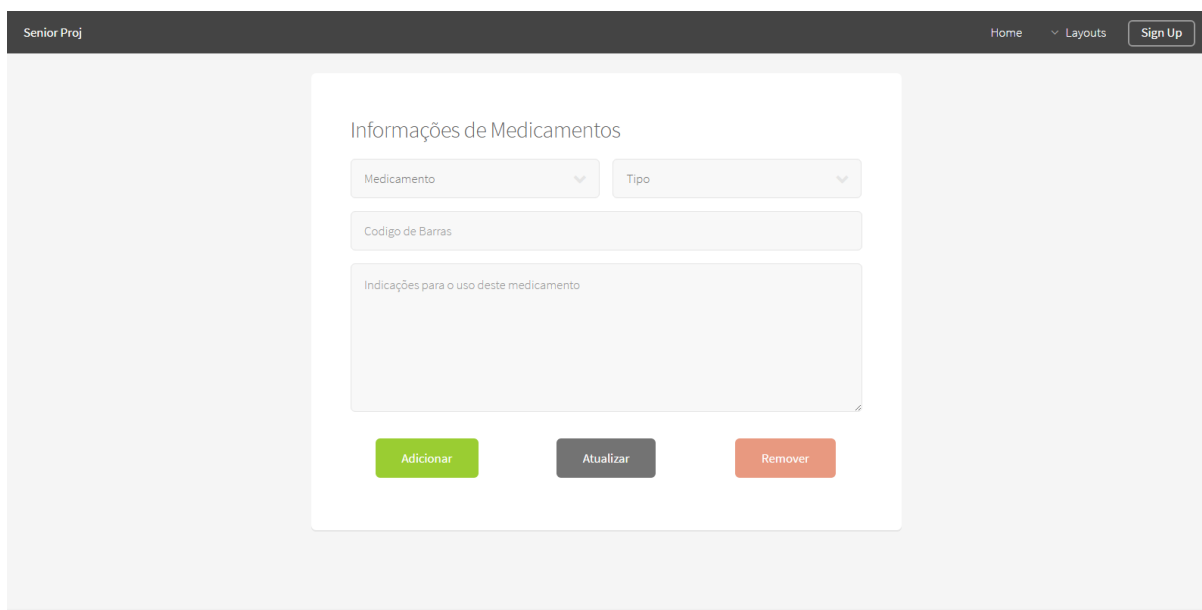


Figura 31: Página de Dash Administrador Parte 2.

Na Figura 32, é mostrada a Tela de Cadastro. Nessa Página, os Administradores podem adicionar outros usuários com o Papel de Farmacêutico por meio da classe *UserController*. O sistema projetado não permite a adição de novos usuários administradores. Isso deve ser feito diretamente no Banco de dados.



Figura 32: Página de Cadastro de Novo Usuário

Além das telas e as possíveis ações visíveis para o usuário mostradas anteriormente, o sistema também inclui funções internas relacionadas com a atividade de pedir medicamento que serão descritas com maior detalhe por envolver aspectos do planejamento do projeto e por ser essencial para o funcionamento correto da prova de conceito desenvolvida neste projeto.

O diagrama da Figura 33 sintetiza a lógica da funcionalidade de pedido de medicamento.

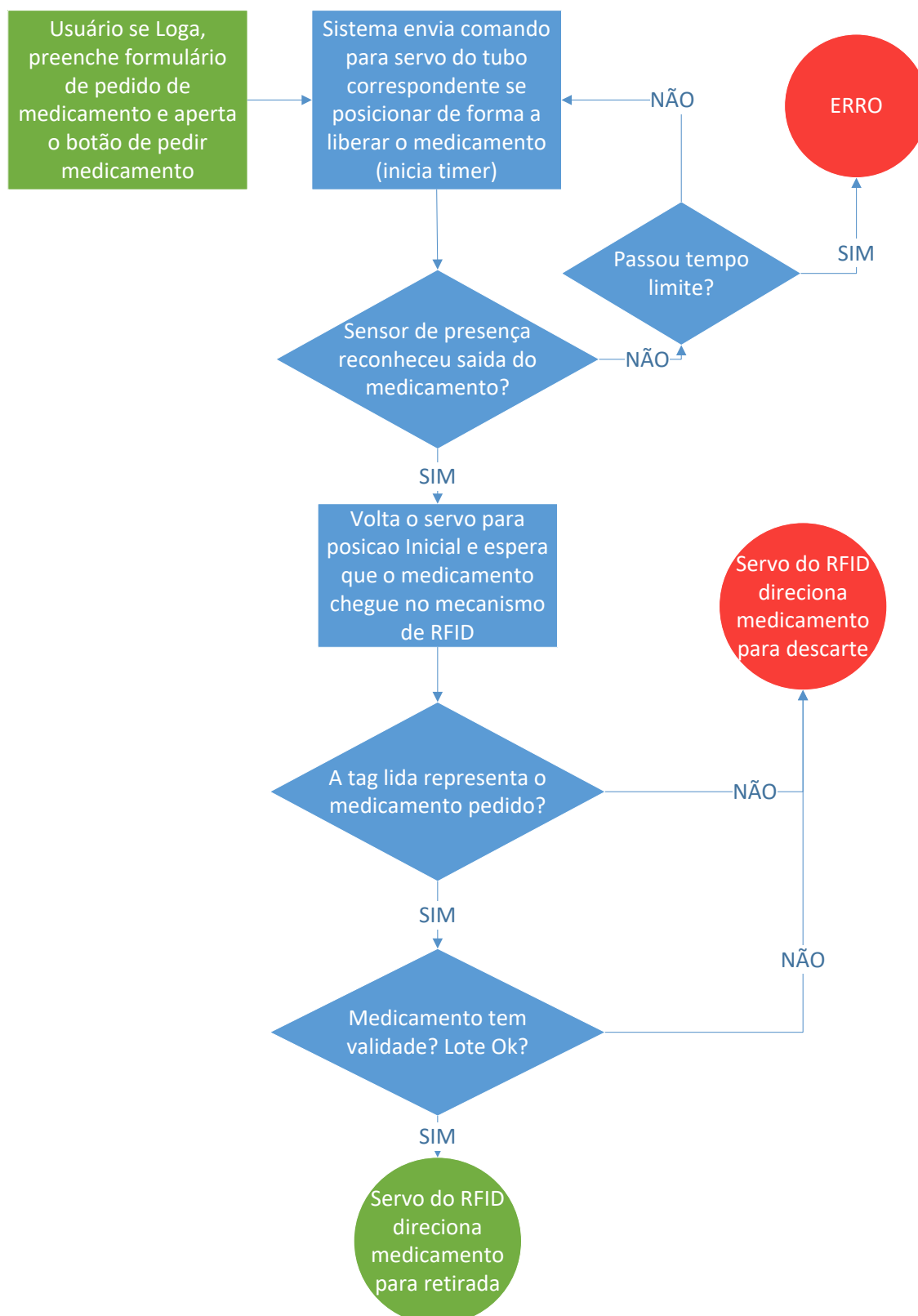


Figura 33: Diagrama de fluxo do processo de dispensação automático.

4.3. Eletrônica

A implementação do projeto da parte eletrônica pode ser descrita observando a caixa da eletrônica, escolhida para armazenar os principais componentes de controle do sistema (Figura 34).

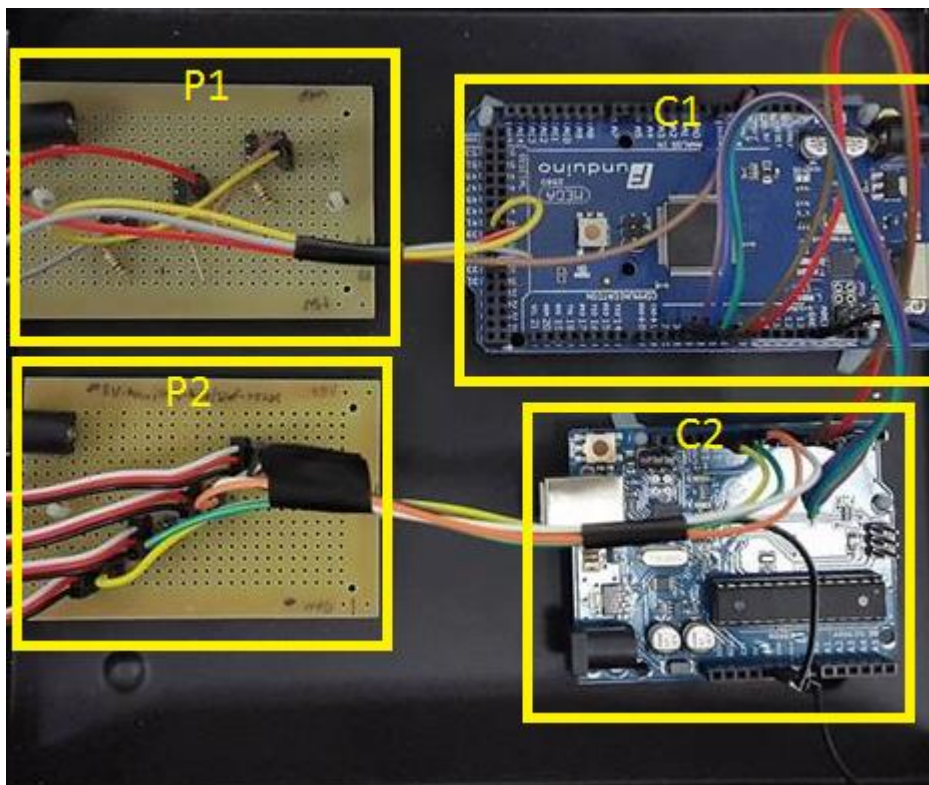


Figura 34: " Caixa da eletrônica" do sistema de automação.

Na Figura 34, as duas placas de circuito (P1 e P2) têm a função principal de alimentar os componentes de detecção de esferas e dos atuadores, respectivamente. A descrição das placas é apresentada com os circuitos esquemáticos de cada um dos componentes no Apêndice B – Projeto das placas de circuito eletrônico e seus respectivos *datasheets* no Anexo A – Datasheets e na Seção 2.

O circuito P1 deve alimentar e acondicionar o sinal dos sensores de presença para a leitura pelo controlador C1 (Arduino Mega):

- O alcance do sensor foi ajustado para detectar qualquer esfera a uma distância mínima de 5 cm.
- O sinal do sensor funciona como NPN e assim é usado um resistor *pull-up* de 10k Ω para manter o sinal estável durante todo o funcionamento do sistema.
- Alimentação +5V por fonte externa.

O circuito P2 deve alimentar os atuadores, conforme orientados pelo controlador C2 (Arduino Uno):

- O alcance do sensor foi ajustado para detectar qualquer esfera a uma distância mínima de 5 cm.
- O sinal do sensor funciona como NPN e assim é usado um resistor *pull-up* de 10k Ω para manter o sinal estável durante todo o funcionamento do sistema.
- Alimentação +5V por fonte externa.

Como citado no item 3.3, o sensor RFID não está presente na caixa da eletrônica, pois é diretamente ligado por um cabo USB-B ao computador.

5. Testes

Os testes foram feitos primeiramente em cada subsistema separadamente. Após ajustes necessários nos subsistemas, e uma nova checagem dos mesmos, prosseguiu-se para testes do sistema integrado, verificando o funcionamento do protótipo.

5.1. Teste do subsistema mecânico

Os testes mecânicos consistiram no teste dos mecanismos movimentando-os manualmente e vendo se os resultados obtidos estavam de acordo com o funcionamento proposto para o protótipo.

O mecanismo de liberação de medicamentos (M1) foi testado colocando-se esferas no tubo e girando o eixo central, respeitando os limites do servo-motor. Os resultados esperados eram que os medicamentos caíssem na rampa e que o medicamento seguinte na fila ficasse aprisionado no tubo.

A rampa foi testada de modo a garantir que sua inclinação levaria a esfera do tubo ao mecanismo de checagem e distribuição de esferas (M2), sem que houvesse grandes impactos na esfera e balanceando isso com a velocidade de queda que deveria ser a maior possível.

O mecanismo M2 foi testado colocando a esferas na rampa, e verificando a rotação para o lado esquerdo e para o lado direito, se as esferas caíam no lado correto do coletor e, se caso houvesse alguma outra esfera na rampa, o mecanismo manteria a esfera aprisionada na rampa sem que ela fosse liberada para o coletor.

5.2. Teste do subsistema eletrônico

Os testes do subsistema eletrônico tiveram três finalidades principais: garantir o funcionamento correto de cada placa de circuito, verificar a conexão entre fios e realizar ajustes nos outros subsistemas para a integração correta entre eles. O primeiro ponto está, essencialmente, relacionado à alimentação correta dos componentes como sensores e servo-motores. A segunda finalidade é assegurar a correta conexão entre os fios de comunicação entre os controladores, as placas de circuito e os componentes de sensoriamento e atuação. E, por fim, o terceiro objetivo foi testar cada um dos sensores separadamente no subsistema mecânico. Foi necessário ajustar a estrutura mecânica, uma vez que os sensores identificavam a presença da rampa, enquanto as esferas não eram detectadas.

5.3. Teste do subsistema de software

Os testes de *software* limitaram-se a testes funcionais, esses testes permitiram que as não conformidades fossem encontradas de forma rápida. Os testes mais técnicos como testes de unidade, cobertura, de integridade e de segurança não foram feitos devido às limitações de tempo e de recursos, no entanto esses tipos de testes seriam importantes na construção de uma versão de fabricação do sistema, na forma de produto comercial.

Os testes funcionais de *software*, de forma resumida, incluíram primeiramente verificar as funcionalidades que dependiam somente de *software*, como por exemplo mudança de informações de medicamento, adição e remoção de medicamentos, adição de usuários verificação de estoque. Para testar essas funcionalidades os formulários foram preenchidos e

verificava-se se as mensagens mostradas eram as esperadas e também se o banco de dados havia sido atualizado corretamente.

Também foram feitos testes que envolviam a comunicação serial do *software* com o *hardware* de controle do protótipo (Arduino) e a comunicação do *software* com o RFID.

Notou-se que em alguns momentos, por motivos desconhecidos, o RFID perdia a comunicação com o *software*. A solução para tal problema era desconectar o RFID e conectá-lo novamente. Esse problema não acontece frequentemente, mas exige um setup e checagem toda vez que o computador for desligado e reconectado.

5.4. Teste do sistema de automação

O sistema como um todo foi testado em três dias diferentes. No primeiro dia foram executados ajustes para que o sistema funcionasse como o esperado. Nessa primeira etapa, foram feitos ajustes finos nos sensores, alinhamentos de algumas peças e também ajuste do ângulo inicial dos servos motores.

Os testes seguintes foram direcionados a medir dados do protótipo, como por exemplo quanto tempo demora para diferentes pedidos, quantas vezes acontece o que se é esperado e quantas vezes ocorrem falhas no protótipo.

Na Tabela 3 há os dados compilados dos dois dias de testes que listam números de situações ideais e falhas do sistema, podendo assim atribuir um grau de confiabilidade ao protótipo. Entende-se por “Lado Correto” como o lado em que se encontram os medicamentos que são compatíveis com os medicamentos solicitados e estão dentro da validade, e entende-se por “Lado de Verificação” como o lado para o qual devem ser direcionados medicamentos cadastrados com uma Tag diferente da do medicamento solicitado e também medicamentos fora da validade.

Tabela 3: Testes de Acertos e Erros do Sistema

Casos	Lado Correto	Lado de Verificação
Medicamento Certo	33	0
Medicamento Errado	0	21
Medicamento sem validade	0	4
Medicamento não Lido de Primeira	1	1

Os números em vermelho representam locais de problemas. Pode-se perceber que não existiram problemas no direcionamento de medicamentos e que a checagem dos mesmos e de validade funcionaram em 100% dos casos.

O único problema observado nos testes, que apenas ocorreu no segundo dia, foi a não leitura da Tag do RFID no momento em que a esfera entrou no mecanismo. O que pode ter acontecido é que ou a Tag RFID não foi reconhecida, ou foi lido parcialmente devido à posição da Tag ou devido à velocidade de aproximação. No entanto, não se sabe exatamente o motivo do erro. Para o sistema realizar a leitura da Tag, foi necessário rotacionar a esfera para modificar a posição dela. Em ambos os casos, depois da leitura da Tag, o sistema atuou como esperado, direcionando a esfera para o lado correto.

Na Tabela 4 são indicados os intervalos de tempo para a dispensação de medicamentos considerando ou não o tempo decorrido para inserir no sistema os medicamentos requeridos.

Tabela 4: Tempos para a Dispensação de Medicamentos pelo Protótipo

# Medicamentos	Levando em conta tempo de input no sistema?	Tempo (s)
2	Não	9,38
3	Não	16,49
3	Não	18,11
5	Não	27,09
3	Sim	41,16
4	Sim	53,55

Pode-se observar que para dispensar um medicamento sem considerar o tempo que o usuário leva para inserir os dados no sistema é em média de 5,47 segundos. Já considerando esse tempo de inserção no sistema, a média do tempo de dispensação foi de 13,53 segundos por medicamento, no entanto vale ressaltar que esse número pode variar de acordo com a agilidade do usuário, e com os diferentes medicamentos pedidos.

6. Conclusão

O projeto surgiu da necessidade de priorizar a segurança do paciente, quando em tratamento nos hospitais. A ocorrência de erros de medicação pode causar danos e mortes. Tais eventos poderiam ter sido evitados, por meio da implementação de novos protocolos para uso correto dos medicamentos, mas também da inovação do sistema hospitalar.

Considerando as vantagens da automação, pode-se obter diversos benefícios operacionais para o hospital, como o controle de estoque de medicamentos e insumos, e redução de resíduos. Há, além disso, a eventual isenção do farmacêutico de trabalhos repetitivos, permitindo que este profissional se dedique mais ao exercício da farmácia clínica, para melhor análise da condição do paciente. Os melhoramentos citados estão vinculados a aprimorar os processos de manipulação e de dispensação de medicamentos nos diversos setores de um ambiente hospitalar.

Como prova de conceito, o projeto permitiu a análise de uma nova alternativa de automação quando aplicado no processo de medicação no ambiente hospitalar. Dentre as etapas de medicação de um paciente, houve especial interesse no sistema de dispensação, pois é uma área, que possui grande potencial para aplicar o conceito de automação. Ao final do projeto, obteve-se o protótipo de um dispensador automático de medicamentos sólidos. Houve a limitação de recursos, de modo que foi possível analisar um sistema com 3 tipos de medicamentos e 2 terminais de coleta somente. Apesar disso, alcançaram-se dados de teste deste protótipo que podem favorecer a aplicação de modelos de automação nos processos hospitalares: liberação do medicamento correto ao terminal indicado e tempo de dispensação baixo. Isso proporciona, respectivamente, confiabilidade para receber o medicamento correto e agilidade para a dispensação. Deve-se ressaltar, por fim, que os resultados deste projeto foram positivos para a etapa de dispensação. Contudo, considerando o processo de medicação como um todo, podem ocorrer erros em outras etapas que afetariam o funcionamento do sistema automático de dispensação. Por exemplo, a farmácia pode receber prescrições com erros, mas o protótipo não tem a capacidade de identificá-los. Outro possível agravante é a fase de abastecer o estoque de medicamentos: é possível inserir um medicamento na cápsula com o Tag incorreto. É necessário ainda a adoção de um procedimento minucioso por parte dos funcionários.

O projeto em questão faz parte de um projeto pretendido pela Escola Politécnica (POLI), Faculdade de Ciências Farmacêuticas (FCF), e o Hospital Universitário (HU). Por isso, espera-se que, com o estudo realizado, seja possível o progresso da integração entre as áreas de saúde e de tecnologia.

Alternativas de melhorias

Como este projeto foi submetido aos limites de recursos e de tempo de um trabalho de conclusão de curso (TCC), reservou-se um espaço para sugestões de melhorias relacionadas à automação do sistema de dispensação para farmácias hospitalares.

Procurou-se adaptar o conceito da solução proposta no projeto ao sistema atual de uma farmácia hospitalar. O protótipo demonstrou a confiabilidade de um sistema de automação no processo de dispensação, porém ainda há o risco de erro para o caso de um medicamento ser associado a uma Tag de outro medicamento. E tal fato é presente na maior parte dos hospitais brasileiros, onde o abastecimento do estoque de medicamentos ainda é uma atividade predominantemente manual, realizada pelos funcionários. Um dos motivos (citado na Introdução) é a necessidade de adaptar o conjunto de medicamentos obtidos das indústrias

farmacêuticas, que não vêm na forma primária, mas deve-se fracionar em unidades. Desse modo, no Brasil, existe urgência para a automação da etapa de abastecimento do estoque, evitando que o erro já ocorra no início do processo.

O projeto como prova de conceito ficou limitado a dois terminais por questão de recursos financeiros e de tempo, mas uma das vantagens desse tipo de sistema é a possibilidade de ter terminais para receber os medicamentos, localizados em inúmeras áreas do hospital. Tal benefício poderia eliminar a necessidade de um funcionário de cada área ir buscar o medicamento diretamente na farmácia, otimizando o tempo de deslocamento.

Foi discutida a sugestão anterior, uma vez que, como o protótipo foi projetado para liberar medicamentos usando o princípio da ação gravitacional, a farmácia do hospital deveria estar localizada nos níveis mais elevados da estrutura para encaminhar os medicamentos nos terminais. Neste caso, uma possível alternativa seria o uso de tubos pneumáticos para direcionar os medicamentos para as diversas áreas de um hospital, permitindo que a farmácia esteja em qualquer local.

Considerando o aspecto mecânico do protótipo, após identificar que uma esfera estava no tubo incorreto, a máquina somente destina tal esfera para o terminal de verificação, e um funcionário deveria realocar todas as esferas a serem analisadas. No entanto, uma proposta futura poderia ser encaminhar essas esferas novamente para o estoque e, dessa vez, para o tubo certo, evitando maior carga de trabalho para o funcionário e posteriores erros.

Com relação aos componentes selecionados no projeto, para o desenvolvimento futuro, as esferas poderiam ser cápsulas mais resistentes e com mecanismo de abertura mais prático para o funcionar inserir ou retirar medicamentos, e mais seguro de modo a eliminar a possibilidade da cápsula abrir no processo, ou danificar o medicamento. Além disso, observou-se, nos testes do protótipo, o inconveniente da não leitura do Tag pelo sensor RFID. Pode-se realizar testes posteriores para um sensor com capacidade de alcance maior.

7. Referências

- AGYEMANG, R.E.O., WHILE, A. Medication errors: types, causes and impact on nursing practice. *British Journal of Nursing*, v.19, n.6, p.380-385, 2010.
- ALVAREZ DIAS, A.M., DELGADO SILVEIRA, E., PÉREZ MENÉNDEZ-CONDE, C., *et al.* Nuevas tecnologías aplicadas al proceso de dispensación de medicamentos. Análisis de errores y factores contribuyentes. *Farmacia Hospitalaria*, v.34, n.2, p.59-67, 2010.
- AMERICAN SOCIETY OF HOSPITAL PHARMACISTS. ASHP Guidelines on the Safe Use of Automated Dispensing Devices. *Am. J. Health-Syst. Pharm.*, v.67, p.483-490, 2010.
- ARDUINO. *Arduino Mega 2560*. Acessado em: 2016-08-11. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>
- BATES, D.W., CULLEN, D.J., LAIRD, N., *et al.* Incidence of adverse drug events and potencial adverse drug events. Implication for prevention. *JAMA*, v.274, n.1, p.29-34, 1995.
- BATES, D.W., COHEN, M., LEAPE, L.L., *et al.* Reducing the Frequency of Errors in Medicine Using Information Technology. *J. Am. Med. Inform. Assoc.*, v.8, p.299-308, 2001.
- BELELA, A.S.C.; PEDREIRA, M.L.G.; PETERLINI, M.A.S. Erros de medicação em Pediatria. *Rev. Bras. Enferm.*, v.64, n.3, p. 563-569, 2011.
- BLOOM, B. The second drug problem. In: HEPLER, C. D.; SEGAL, R. Preventing medication errors and improving drug therapy outcomes. New York: CRC Press, 2003. cap. 1, p.1-10.
- BOREL, J.M.; RASCATI, K. Effect of on automated, nursing unit-based drug-dispensing device on medication errors. *Am. J. Health-Syst. Pharm.*, v.52, p.1870-1875, 1995.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RDC nº 67, de 21 de dezembro de 2009. Dispõe sobre normas de tecnovigilância aplicáveis aos detentores de registro de produtos para saúde no Brasil. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 23 dez. 2009.
- BUNKER, J. P. The role of medical care in contributing to health improvements within societies. In: *International Epidemiological Association*; 30:1260-1263, 2001.
- CLUCK, D., WILLIAMSON, J.C., GLASGO, M., *et al.* Bacterial contamination of na automated pharmacy robot used for intravenous medication preparation. *Infection Control and Hospital Epidemiology*, v.33, n.5, p.517-520, 2012.
- COTE, D.D., TORCHIA, M.G. Robotic sysstem for iv antineoplastic drug preparation description and preliminary evaluation under simulates conditions. *American Journal of Hospital Pharmacy*, v.46, p.2286-2293, 1989.

DEPARTMENT OF HEALTH. An Organisation with a Memory: Report of an Expert Group on learning from adverse events in the NHS. Chaired by the Chief Medical Officer. London: NHS. 2000. Disponível em: <http://www.aagbi.org/sites/default/files/An%20organisation%20with%20a%20memory.pdf>. Acesso em: 20 abril 2014.

DEPARTMENT OF HEALTH. Safety first: a report for patients, clinicians and healthcare managers. London: NHS. 2006. Disponível em: http://www.dh.gov.uk/prod_consum_dh/groups/dh_digitalassets/@dh/@en/documents/digitalasset/dh_064159.pdf. Acesso em: 20 abril 2014.

EARLY, C., RIHA, C., MARTIN, J., *et al.* Scanning for safety: An integrated approach to improved bar-code medication administration. *Computers Informatics Nursing*, v.29, n.3, p.157-164, 2011.

ELLIOTT, C. White Coat, Black Hat: Adventures on the Dark Side of Medicine. [S.I.]: Beacon Press, 2010. 233p.

FRANKLIN, B.D., O'GRADY, K., VONCINA, L., *et al.* An evaluation of two automated dispensing machines in UK hospital pharmacy. *Int. J. Pharm. Practice*, v.16, p.47-53, 2008.

GARCÍA BETANCES, R. I.; HUERTA, M. K. A Review of Automatic Patient Identification Options for Public Health Care Centers with Restricted Budgets. *Online Journal of Public Health Informatics*, [S.I.], v. 4, n. 1, may. 2012. ISSN 1947-2579, p. 1-7, 2012.

GOBIERNO DE ESPAÑA. Ministerio de Sanidad y Política Social. Agencia de Calidad del Sistema Nacional de Salud. Incidentes y eventos adversos en medicina intensiva. Seguridad y riesgo en el enfermo crítico SYREC 2007. Informe. Mayo 2009. Madrid: Ministerio de Sanidad y Política Social; 2009.

GS1 Healthcare Provider Advisory Council (HPAC). Implementation of GS1 standards based processes in hospitals is hindered by bar code symbol issues. Position Paper, p. 1-3, 2012.

HELMONS, P.J., DALTON, A.J., DANIELS, C.E. Effects of a direct refill program for automated dispensing cabinets on medication-refill errors. *Am. J. Health-Syst. Pharm.*, v.69, oct1, p.1659-1664, 2012.

HYNNIMAN, C.E. Drug product distribution systems and departmental operations. *American Journal of Hospital Pharmacy*, v.48, Suppl.1, p.S24-S35, 1991.

IMGUR. Mecanismo Prismático - <<http://i.stack.imgur.com/aRqlf.png>> Acesso em 22 de maio de 2016.

IMGUR. Mecanismo de Liberação com múltiplas pás - <<http://i.stack.imgur.com/Ab4YPm.jpg>> Acesso em 22 de maio de 2016.

INSTITUTE OF MEDICINE. To err is human: building a safer health system. Washington (DC): National Press Academy; 1999.

JAMES, K.L., BARLOW, D., BITHELL, A. *et al.* The impact of automation on pharmacy staff experience of workplace stressors. *International Journal of Pharmacy Practice*, v.21, p.106-116, 2013.

KNOER, S.J., PASTOR, J.D. 3rd, PHELPS, P.K. Lessons learned from a pharmacy practice model change at an academic medical center. *Am. J. Health-Syst. Pharm.*, v.67, p.1862-1869, 2010.

LANDAU, OFER, DRY FOOD DISPENSING SYSTEM. US 10/178,512. US6964355 B2. 15 nov. 2005, Fig.4.

LANDIS, N.T. Pharmacies gain staff time as new employee lends a hand: automated system has near-perfect accuracy. *Am. J. Hosp. Pharm.*, v.50, nov. 1993, p.2236-2248, 1993.

MALTA, N.G. Rastreabilidade de medicamentos na farmácia hospitalar. *Pharmacia Brasileira*. N.79, p.3-20, 2011. Disponível em:

http://www.cff.org.br/sistemas/geral/revista/pdf/129/pb79_encarte_farmacia_hospitalar.pdf.

Acesso em: 5 nov. 2013.

MANSOURI, A., AHMADVAND, A, HADJIBABAIE, M., *et al.* Types and severity of medication errors in Iran; a review of the current literature. *DARU Journal of Pharmaceutical Sciences*, v.21, n.1, p.21-49, 2013.

KHALILI, H., FARSAEI, S., REZAEI, H., DASHTI-KHAVIDAKI, S. Role of clinical pharmacists' interventions in detection and prevention of medication errors in a medical ward. *Int. J. Clin. Pharm.*, v.33, p.281-284, 2011.

OSWALD, S.; CALDWELL, R. Dispensing error rate after implementation of an automated pharmacy carousel system. *Am. J. Health Syst. Pharm.*, v.64, n.13, p.1427-1431, 2007.

PASTÓ-CARDONA, L., MASUET-AUMATELLB, C., BARA-OLIVÁN, B., *et al.* Estudio de incidencia de los errores de medicación en los procesos de utilización del medicamento: prescripción, transcripción, validación, preparación, dispensación y administración en el ámbito hospitalario. *Farm. Hosp.*, v.35, n.5, p.257-268, 2009.

PEDERSEN, C.A., SCHNEIDER, P.J., SCHECKELHOFF, D.J. ASHP national survey of pharmacy practice in hospital settings: Dispensing and administration. *Am. J. Health-Syst. Pharm.*, v.66, p.926-946, 2009.

PEDERSEN, C.A., SCHNEIDER, P.J., SCHECKELHOFF, D.J. ASHP national survey of pharmacy practice in hospital settings: Dispensing and administration—2011. *Am. J. Health Syst. Pharm.*, v.69, p.768-785, 2012, 2012.

PERINI, V.J., VERMEULEN Jr, L.C. Comparison of automated medication-management systems. *Am. J. Hosp. Pharm.*, v.51, n.15, p.1883-1891, 1994.

PINTO, T. D. J. A., CARDOSO, J. R. Modelos para automação de farmácia de hospitais brasileiros. São Paulo, 2014.

BANKS, J., PACHANO M., THOMPSON, L., HANNY, D. RFID Applied, p. 311 -319, 2007.

RIBEIRO, E. Dose Unitária: sistema de distribuição de medicamentos em hospitais, São Paulo, 1992. 465 f. (Dissertação de Mestrado em Administração de Empresas), Escola de Administração de Empresas de São Paulo, FGV, São Paulo, 1992.

RIBEIRO, E., TAKAGI, C.A. Seleção de medicamentos. In: STORPIRTIS, S.; MORI, A.L.P.M.; YOCHIY, A.; RIBEIRO, E.; PORTA, V. *Farmácia Clínica e Atenção Farmacêutica*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008, 489p.

RICCI, M.C.S. Atenção farmacêutica em pediatria. In: STORPIRTIS, S.; MORI, A.L.P.M.; YOCHIY, A.; RIBEIRO, E.; PORTA, V. *Farmácia Clínica e Atenção Farmacêutica*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008, 489p.

ROCHAIS, E., ATKINSON S., BUSSIÈRES J.F. Nursing perception of the impact of medication carts on patient safety and ergonomics in a teaching health care center. *Journal of Pharmacy Practice*, v.26, n.2, p.131-137, 2013.

SCHNIPPER, J.L., ROTHSCILD, J.M. Improving medication safety. *The Lancet*, v.379, n.9832, p.1278-1280, 2012.

SISNACMED. *Supply Point*. Acessado em: 2015-05-11. Disponível em: <http://www.sisnacmed.com.br/#!/supply-point/c1400>

SWISSLOG. *PillPick Light*. Acessado em: 2015-05-11. Disponível em: <http://www.swisslog.com/> e <https://www.youtube.com/watch?v=sXBWB1wQm20>.

SCHWAPPACH, D.L.B. Frequency of and predictors for patient-reported medical and medication errors in Switzerland. *Swiss Medical Weekly*, v.141, p.1-8, 2011.

VARVARELIS, N. M., SAMUELSON, J. ELECTRONIC PILL DISPENSER. *Int CIG06F 17/00.US7359765 B2*. 15 abr. 2008, p.9.

VASSILYA U., SAMI B. Evaluation and implementation of QR Code Identity Tag system for Healthcare in Turkey. *SpringerPlus* 5:1454, p. 1-3, 2016.

VELOSO, I.R., TELLES FILHO, P.C.P; DURÃO, A.M.S. Identificação e análise de erros no preparo de medicamentos em uma unidade pediátrica hospitalar. *Rev Gaúcha Enferm.*, Porto Alegre, v.32, n.1; p. 93-99, 2011.

VOLPE, G., COHEN S., CAPPS, R.C. *et al.* Robotics in acute care hospitals. Am. J. Health-Syst. Pharm., v.69, p.1601-1603, 2012.

WATCHER, R.M. Compreendendo a segurança do paciente. 2013; [tradução Carolina Buss, Camila Philbert Lajolo Schrotberger, André Anjos da Silva; revisão técnica Guilherme Brauner Barcellos]. 2 ed. Porto Alegre: AMGH, 2013, 478p.

WITKOWSKI, P. Case study: Novel ways automation enhances medication safety. Am J Health-Syst Pharm., v.64, Suppl 9 p.S21-23, 2007.

WITZEL, M.D.R.F. Aspectos conceituais e filosóficos da Assistência farmacêutica, Farmácia Clínica e Atenção Farmacêutica. In: STORPIRTIS, S.; MORI, A.L.P.M.; YOCHIY, A.; RIBEIRO, E.; PORTA, V. Farmácia Clínica e Atenção Farmacêutica. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008, 489p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. The World Health Report 2002. Reducing Risks, Promoting Healthy Life. Geneve: WHO, 2002a. Disponível em: <http://www.who.int/whr/2002/en/> . Acesso em: 12 abril 2014.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Department of Essential Drugs and Medicines. The Uppsala Monitoring Centre. The importance of pharmacovigilance: safety monitoring of medicinal products. Genebra; 2002b

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Promoting rational use of medicines. WHO Policy Perspectives on Medicines, No. 005, September 2002. 2002c

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Patient safety: a world alliance for safe health care. Who patient safety research. Genebra: WHO, 2009. 16p.

YAMAMOTO, M.S., PETERLINI, M.A.S., BOHOMOL, E. Spontaneous reporting of medication errors in pediatric university hospital. Acta Paul. Enferm., v.24, n.6, p.766-771, 2011.

ZEGERS, M., DE BRUIJNE, M.C., DE KEIZER, B., *et al.* The incidence, root-causes, and outcomes of adverse events in surgical units: implication for potencial prevention strategies. Patient Safety in Surgery. v.5, n.1, p. 13- 24, 2011.

Anexo A – Datasheets

Sensor de distância infravermelho E18-D80NK-N (datasheet retirado do fabricante)

Este datasheet pode ser obtido no site 61mcu.com.

Introduction

This is an infrared distance switch. It has an adjustable detection range, 3cm - 80cm. It is small, easy to use/assemble, inexpensive. Useful for robot, interactive media, industrial assembly line, etc.



Specification

Model NO: E18-D80NK-N

Sensing range: 3-80cm adjustable

Sensing object: Translucency, opaque

Supply voltage: DC5V

Load current: 100mA

Output operation: Normally open(O)

Output: DC three-wire system(NPN)

Diameter: 18mm, Length: 45mm

Appearance: Threaded cylindrical

Material: Plastic

Guard mode: Reverse polarity protection

Ambient temperature: -25-70°C

Red: +5V; Yellow:Signal;Green:GND

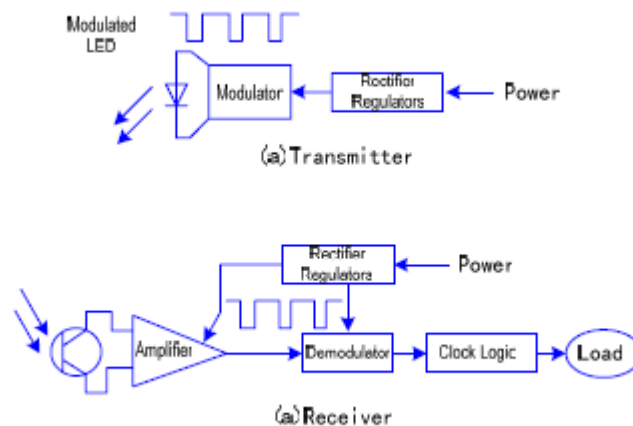


Figura 35: Datasheet do sensor de distância.

Apêndice A – Planejamento Inicial do Projeto

Recursos necessários

Nas Tabela 5 e Tabela 6, estão disponibilizadas as previsões dos recursos sob o aspecto monetário necessários para o projeto.

Tabela 5: Material para a estrutura mecânica (R\$).

Item	Qtd.	Valor Unitário	Valor Total
Chapas de acrílico (50 mm X 80 mm) *	7	140	980
Tubos de PVC (3 m e diâmetro 75 mm)	1	25.90	25.90
Esferas	10	2	20
Componentes mecânicos (parafusos, rebites etc)	1	70	70
Total			1095.90

Como alternativa para as chapas de acrílico, podem ser utilizadas chapas de MDF pelo seu custo menor (R\$60,54 para 2750x1850 mm).

Tabela 6: Material para a estrutura eletrônica (R\$).

Item	Qtd.	Valor Unitário	Valor Total
Arduino Mega	1	80	80
Motor-de-passo	4	7	28
Componentes eletrônicos (chaves, resistores etc)	1	100	100
Módulo RFID	3	25	75
TAGs RFID para medicamentos (com 10)	1	40	40
Total			323

Além desses recursos, haverá a necessidade de uso do espaço para a usinagem da estrutura mecânica, como o laboratório de Máquinas operatrizes da Escola Politécnica da USP.

Um dos recursos essenciais é o tempo, limitado ao período de um ano para realizar o projeto, de acordo com o cronograma para o TCC. Isso é descrito em maior profundidade na seção seguinte.

Cronograma

O cronograma de tarefas foi criado por meio do diagrama de Gantt, por ser um instrumento que permite modelar a planificação de tarefas necessárias para a realização de um projeto, como observado a seguir na Tabela 7 e na Figura 36:

Tabela 7: Diagrama de Gantt.

ID	Nome da tarefa	Duração	Início	Término	Predecessoras	Status
1	Estudo de soluções existentes nos Hospitais Brasileiros (pesquisa de campo)	3 meses	Seg 04/01/16	Sex 25/03/16		OK
2	Estudo de bibliografia (artigos científicos/patentes) sobre Dispenser de Medicamentos	2 meses	Seg 04/01/16	Sex 26/02/16		OK
3	Estudo de Bibliografia sobre Decision Making	2 meses	Seg 04/01/16	Sex 26/02/16		OK
4	Verificação quais pontos desses estudos podem ser apropriados para nossa máquina para termos um melhor resultado final. Entender qual as vantagens competitivas da nossa proposta	1 sem	Seg 29/02/16	Sex 04/03/16	2;3	OK
5	Fechamento da Solução a Ser empregada	0 dias	Seg 07/03/16	Seg 07/03/16	4	OK
6	Estudo e entendimento da tecnologia de RFID, ou outra tecnologia caso esta seja uma forma melhor de se obter o resultado final de acordo com os estudos preliminares	2 sems	Seg 07/03/16	Sex 18/03/16	4	OK
7	Desenho da solução em CAD	2 sems	Seg 07/03/16	Sex 18/03/16	4	OK
8	Desenho do Circuito Eletrônico - Definição de motores, sensores, conexões	1 mês	Seg 07/03/16	Sex 01/04/16	4	OK
9	Desenho da solução de Software - Software do Arduino, Integração do Arduino com o PC, IHM	1 mês	Seg 07/03/16	Sex 01/04/16	4	OK
10	Finalização do Planejamento detalhado do Projeto	0 dias	Seg 04/04/16	Seg 04/04/16	7;8;9	OK
11	Compra de materiais necessários	2 meses	Seg 07/03/16	Sex 29/04/16	4	OK
12	Fabricação da Estrutura mecânica	3 meses	Seg 21/03/16	Sex 10/06/16	7	OK
13	Construção de um circuito eletrônico preliminar (deixar pronto para só conectar os motores e sensores e rodar)	1,5 meses	Seg 04/04/16	Sex 13/05/16	8	Em andamento
14	Desenvolvimento do Software para o Arduino (Ativação de motores, leitura de sensores)	1,5 meses	Seg 09/05/16	Sex 17/06/16	13TI-5 dias	OK
15	Comunicação entre Arduino e o software usado para IHM	2 sems	Seg 20/06/16	Sex 01/07/16	14	OK
16	Codificação da IHM e software de base de dados (controle de estoque)	2 meses	Seg 04/07/16	Sex 26/08/16	15	OK
17	Finalização da construção do protótipo	0 dias	Seg 29/08/16	Seg 29/08/16	12;13;14; 15;16	Em andamento
18	Testes e Correções	2 meses	Seg 29/08/16	Sex 21/10/16	16;12	TBD
19	Revisão da Documentação - Para Entrega Preliminar e ajustes	2 sems	Seg 24/10/16	Sex 04/11/16	18	TBD

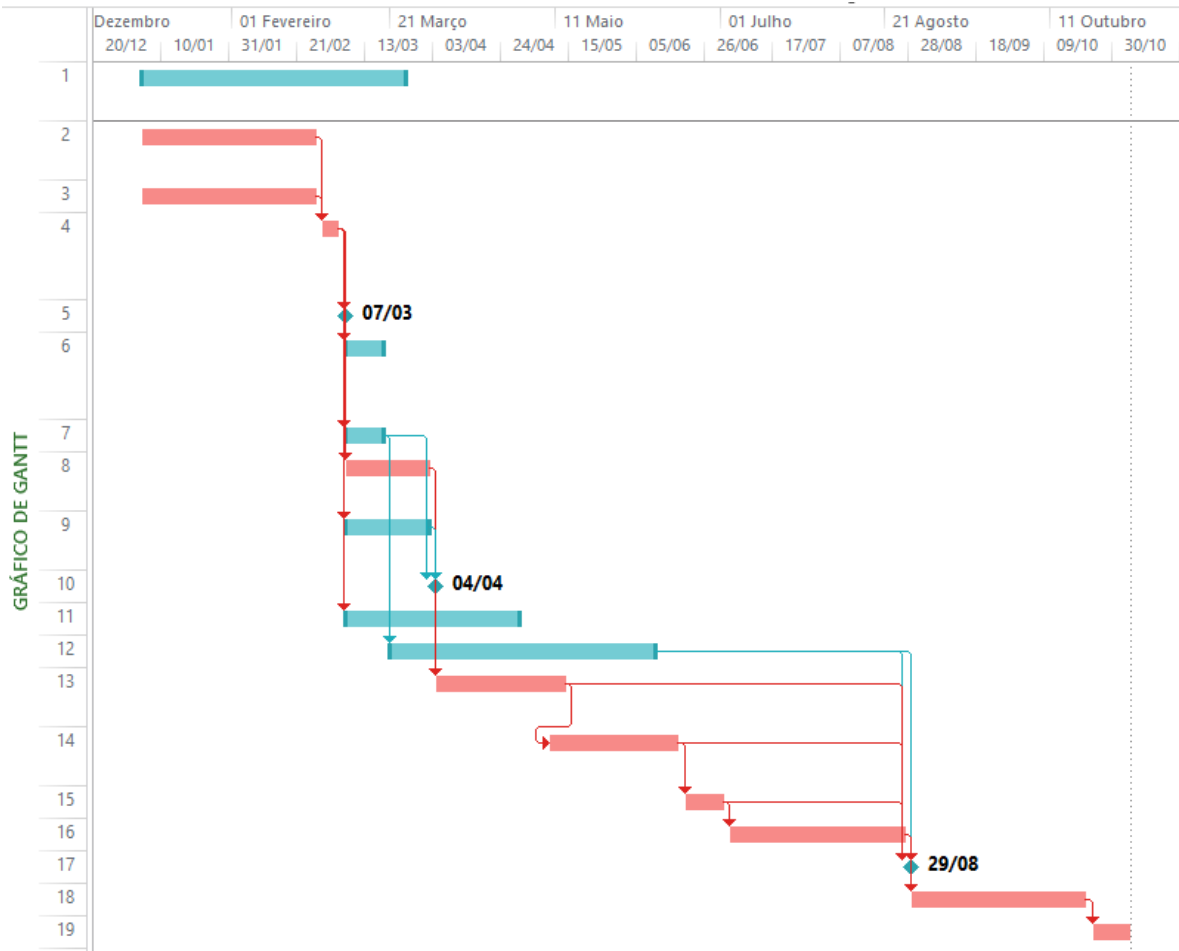


Figura 36: Diagrama de Gantt.

Apêndice B – Projeto das placas de circuito eletrônico

Conforme informado nos itens 3.3 e 4.3, o projeto das placas P1 e P2 teve como principal objetivo adaptar os componentes eletrônicos, usados para sensoriamento e atuação, às controladoras C1 e C2. A seguir, serão apresentados todos os circuitos esquemáticos criados, tal como o *bill of materials*, conforme Figura 37, Figura 38, Figura 39.

Há uma observação a fazer com relação à placa P1, destinada para os sensores de distância E18-D80NK-N. Cada sensor possui três fios, conforme *datasheet* no Anexo A – Datasheets: GND, VCC e SIGNAL. É recomendado pelo fabricante o uso de um resistor pull-up para que o controlador sempre obtenha um sinal lógico definido. No caso, o sensor funciona como NPN.

A placa P2 está projetada para a alimentação dos servos e conexão com o Arduino Uno.

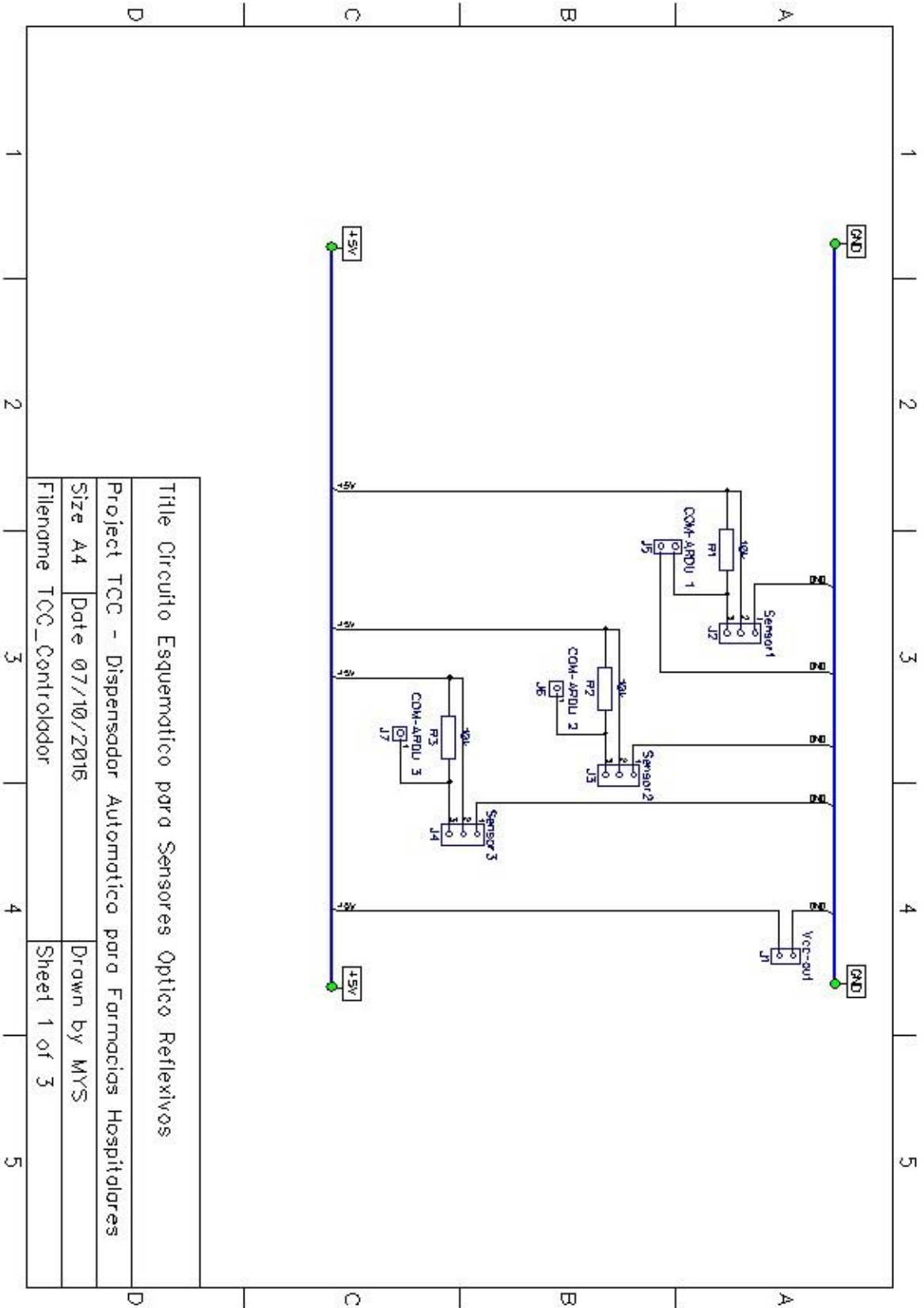


Figura 37: Circuito Esquemático da placa P1.

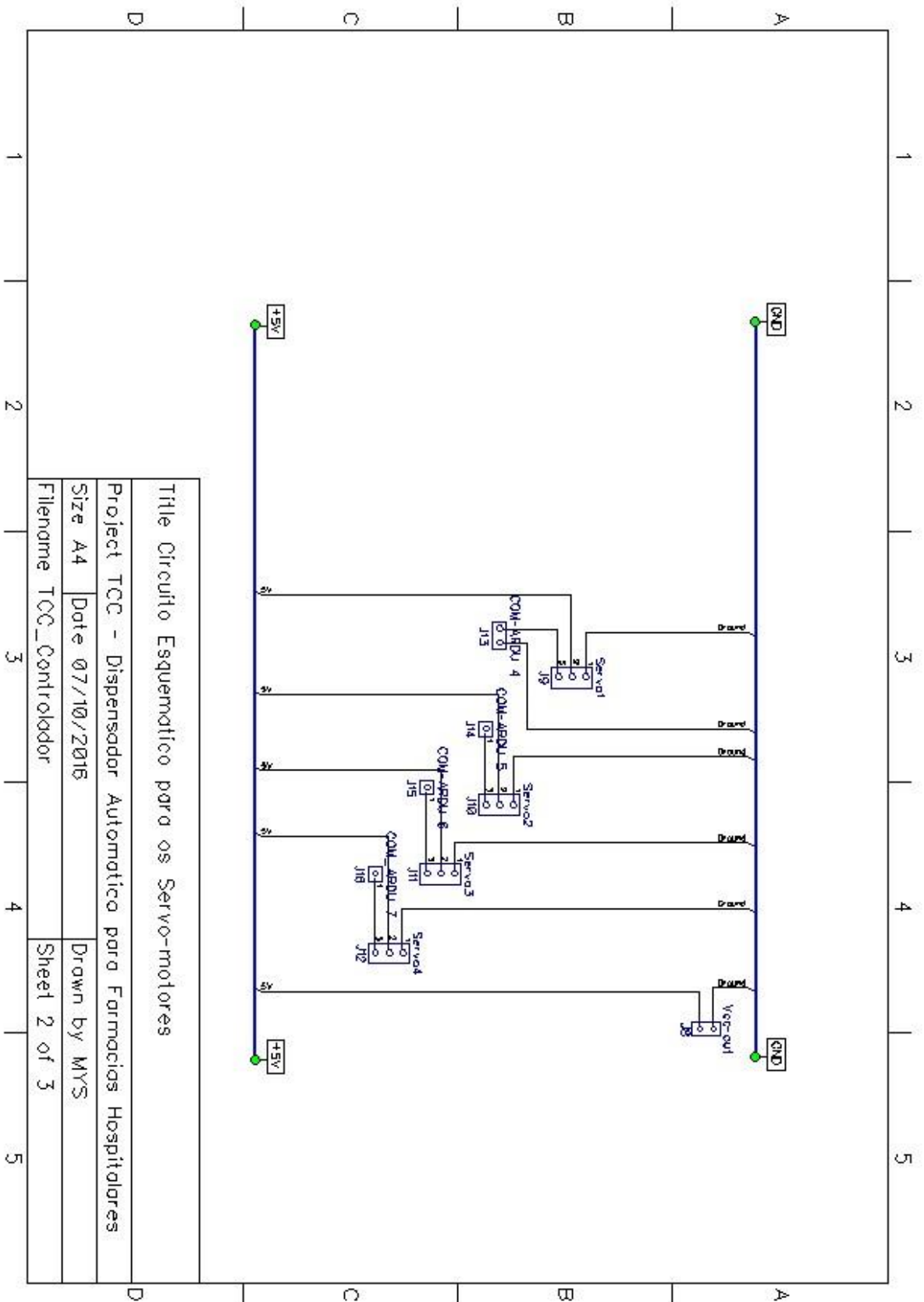
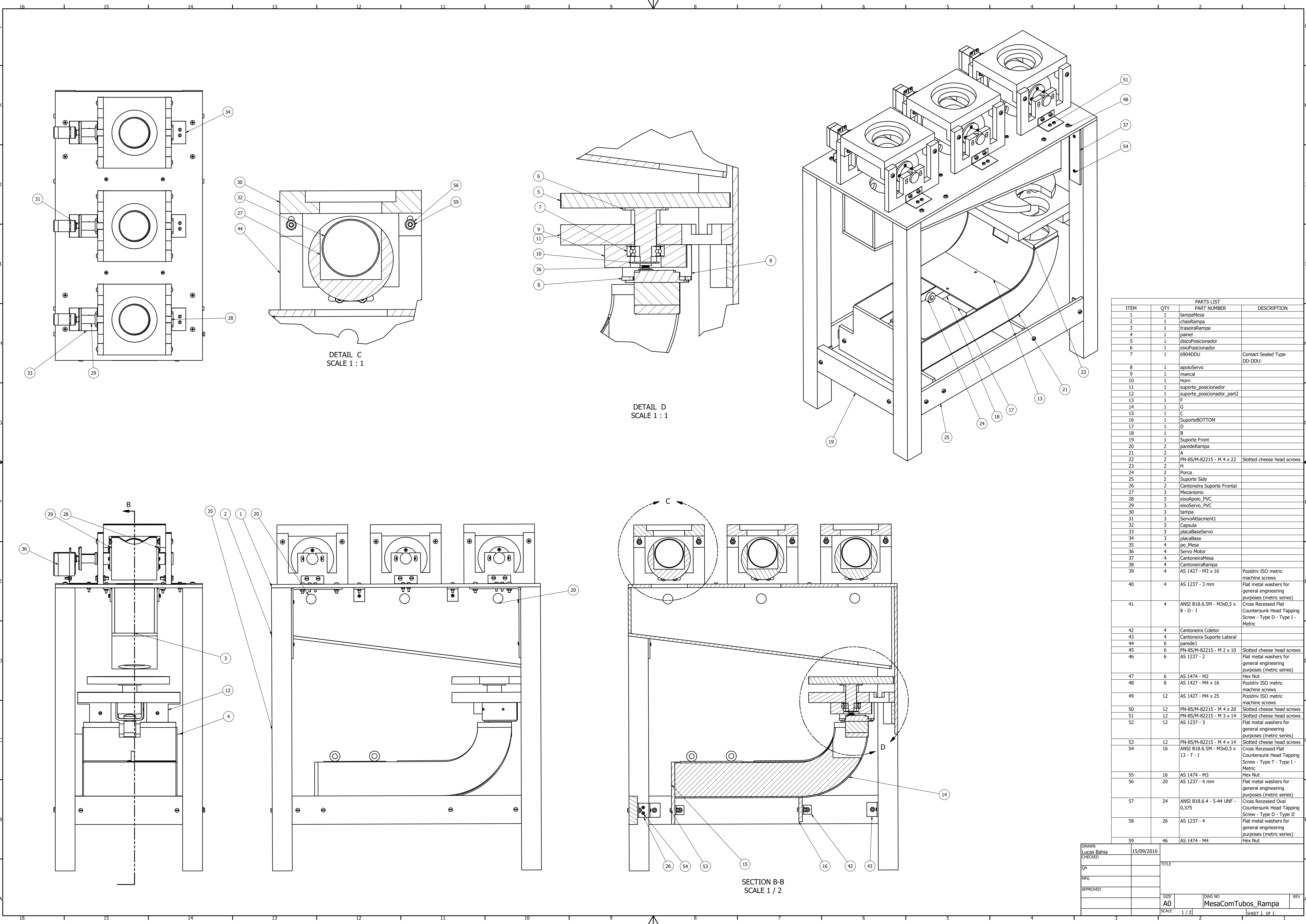


Figura 38: Circuito Esquemático da placa P2.

Apêndice C – Desenhos técnicos do projeto



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	tampaMesa	
2	1	chaoRampa	
3	1	traseiraRampa	
4	1	painel	
5	1	discoPosicionador	
6	1	eixoPosicionador	
7	1	6904DDU	Contact Sealed Type DD-DDU-
8	1	apoioServo	
9	1	mancal	
10	1	Horn	
11	1	suporte_posicionador	
12	1	suporte_posicionador_part2	
13	1	F	
14	1	G	
15	1	C	
16	1	SuporteBOTTOM	
17	1	D	
18	1	B	
19	1	Suporte Front	
20	2	paredeRampa	
21	2	A	
22	2	PN-85/M-82215 - M 4 x 22	Slotted cheese head screws
23	2	H	
24	2	Porca	
25	2	Suporte Side	
26	2	Cantoneira Suporte Frontal	
27	3	Mecanismo	
28	3	eixoApoio_PVC	
29	3	eixoServo_PVC	
30	3	tampa	
31	3	ServoAttachment1	
32	3	Capsula	
33	3	placaBaseServo	
34	3	placaBase	
35	4	pe_Mesa	
36	4	Servo Motor	
37	4	CantoneiraMesa	
38	4	CantoneiraRampa	
39	4	AS 1427 - M3 x 16	Pozidriv ISO metric machine screws
40	4	AS 1237 - 3 mm	Flat metal washers for general engineering purposes (metric series)
41	4	ANSI B18.6.5M - M3x0,5 x 8 - D - I	Cross Recessed Flat Countersunk Head Tapping Screw - Type D - Type I - Metric
42	4	Cantoneira Coletor	
43	4	Cantoneira Suporte Lateral	
44	6	paredel	
45	6	PN-85/M-82215 - M 2 x 10	Slotted cheese head screws
46	6	AS 1237 - 2	Flat metal washers for general engineering purposes (metric series)
47	6	AS 1474 - M2	Hex Nut
48	8	AS 1427 - M4 x 16	Pozidriv ISO metric machine screws
49	12	AS 1427 - M4 x 25	Pozidriv ISO metric machine screws
50	12	PN-85/M-82215 - M 4 x 20	Slotted cheese head screws
51	12	PN-85/M-82215 - M 3 x 14	Slotted cheese head screws
52	12	AS 1237 - 3	Flat metal washers for general engineering purposes (metric series)
53	12	PN-85/M-82215 - M 4 x 14	Slotted cheese head screws
54	16	ANSI B18.6.5M - M3x0,5 x 13 - T - I	Cross Recessed Flat Countersunk Head Tapping Screw - Type T - Type I - Metric
55	16	AS 1474 - M3	Hex Nut
56	20	AS 1237 - 4 mm	Flat metal washers for general engineering purposes (metric series)
57	24	ANSI B18.6.4 - 5-44 UNF - 0,375	Cross Recessed Oval Countersunk Head Tapping Screw - Type D - Type II
58	26	AS 1237 - 4	Flat metal washers for general engineering purposes (metric series)
59	46	AS 1474 - M4	Hex Nut

DRAWN	Lucas Bahia	15/09/2016			
CHECKED			TITLE		
QA					
MFG					
APPROVED					
			SIZE	DWG NO	REV
			A0	MesaComTubos_Rampa	
			SCALE	1 / 2	
			SHEET 1 OF 1		