

AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL

FILIPE BARRETO - FILIPEBD@UFMG.BR
GABRIELA TOLENTINO - GABRIELATBA@HOTMAIL.COM
PEDRO MAIA - PEDRODEMAIA@GMAIL.COM
RÔMULO SCHAEFER - ROMINHOSM@HOTMAIL.COM
RAFAEL GODOY - FAELGODOYZAO@GMAIL.COM
PABLO BERZOINI - PABLO.BERZOINI@GMAIL.COM

Versão 2.0

1. INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica vivida na sociedade atualmente faz com que cada vez mais as pessoas aumentem as suas exigências com relação ao conforto, segurança, sustentabilidade e comunicação. Por isso, a automação de casas e prédios, conhecidos como Domótica, é uma área que vem crescendo cada vez mais. Sendo o seu objetivo fundamental é oferecer conforto e segurança aplicando mecanismos automáticos de fácil manuseio.

Este trabalho trata exatamente desse tema. É abordado a construção de um sistema de controle e automação residencial, através de uma abordagem de controle baseado a eventos discretos, utilizando da técnica de Rede de Petri. Será feita, utilizando dos conceitos de circuitos elétricos e eletrônicos e programação, o controle mecânico e elétrico da residência. E para interfacear os dispositivos elétricos-eletrônicos, o controle com a Rede de Petri e a interação com os moradores será através de um aplicativo de celular juntamente com um microcontrolador.

1.1. Lista dos Upgrades. A tabela 1 mostra as melhorias criadas.

Melhorias na casa	Descrição da melhoria
Telhado	A partir de palitos de madeira e cola, foi construído um telhado para a casa.
Elevador	A casa possui um sistema de transporte vertical de passageiros e cargas.
Portão da garagem	Foi construído um portão na garagem a partir de palitos de madeira, cola, potênciometro, motor cc e controle no arduino.
Encapsulamento dos fios	Os fios condutores estão encapsulados por um material condutor que ajuda na organização e no entendimento das conexões.
Aplicativo no celular	Para portabilizar o controle das funcionalidades da casa, foi criado um aplicativo que por Bluetooth manda comandos para o arduino.

TABELA 1. Upgrades da casa

1.2. Colaboradores. O projeto foi elaborado com a cooperação de: Daniel Paulino, Gabriel Cangussu, Priscilla Scarpelli e Matheus Cabral.

2. ESTADO DA ARTE

No Brasil, onde as taxas de crescimento urbano são elevados, só que com um padrão de vida baixo, o crescimento da domótica é bastante defasado se comparado com os países desenvolvidos. Pode-se descrever um sistema de domótica, de forma simplificada, como sendo um conjunto de sensores e atuadores ligados em rede. (da Silva, 2008)

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O objetivo desta seção é apresentar a fundamentação teórica necessária para o desenvolvimento e análise deste trabalho. Nos próximos tópicos serão discutidos conceitos de redes de petri, circuitos eletrônicos e microcontrolador, que são a base para a realização do projeto.



FIGURA 3.1. Motor CC

3.1. Redes de Petri. O conceito de redes de Petri fornece um tipo de representação matemática para sistemas a eventos discretos.

3.1.1. Elementos básicos.

- Lugar: Pode ser interpretado como uma condição, um estado parcial, uma espera, um procedimento, etc. Os lugares equivalem as variáveis de estado do sistema. Em geral, todo lugar tem um predicado associado, por exemplo, *máquina livre, peça em espera, etc.*
- Transição: Está associada com um evento que ocorre no sistema.
- Ficha: É um indicador significando que a condição associada ao lugar é verificada. Por exemplo, uma ficha no lugar máquina livre indica que a máquina está livre (predicado verdadeiro). Se não há fichas neste lugar, o predicado é falso, por conseguinte a máquina não está livre.

A ocorrência de um evento no sistema é representado pelo disparo na transição ao qual ele está associado. Basicamente o disparo consiste em retirar fichas dos lugares de entrada, indicando que esta condição não é mais verdadeira e depositar fichas em cada lugar de saída, indicando que estas atividades estão sendo executadas.

3.1.2. Definição. Uma rede de petri é uma quádrupla $R = (P, T, A, w)$ onde

- P é um conjunto finito de lugares;
- T é um conjunto finito de transições;
- A é um conjunto de arcos, sub-conjunto do conjunto $(P \times T) \cup (T \times P)$;

3.1.3. Dinâmica das redes de Petri. Sejam:

- $x = [x(p_1), x(p_2), \dots, x(p_n)]$: estado atual
- $x' = [x'(p_1), x'(p_2), \dots, x(p_n)]$: o próximo estado, após o disparo da $j - \text{ésima}$ transição;
- $u = [0, \dots, 0, 1, 0, \dots, 0]$: o vetor de disparo com dimensão $1 \times m$, onde o 1 aparece na posição j e corresponde ao disparo da $j - \text{ésima}$ transição, $j \in \{1, \dots, m\}$ e m corresponde ao número de transições.
- $A = [a_{ji}]$: a matriz de incidência, de dimensão $m \times n$, tal que cada posição a_{ji} é definida como:

$$a_{ji} = w(t_j, p_i) - w(p_i, t_j)$$

A dinâmica das redes de Petri pode ser representada matricialmente da seguinte forma:

$$x' = x + uA$$

3.2. Circuitos Eletrônicos. Todo arcabouço teórico já discutido nas disciplinas relacionadas a circuitos elétricos/eletrônicos são necessários para o desenvolvimento deste projeto. Abaixo serão discutidos alguns elementos mais relevantes que foram utilizados na construção do protótipo.

3.2.1. Motor de corrente contínua. Os motores de corrente contínua (CC) são motores elétricos bastante simples que utilizam energia elétrica e um campo magnético para produzir torque, com a rotação do motor. Na sua forma mais simples, um motor de corrente contínua requer dois ímãs de polaridades opostas e uma bobina elétrica, que atua como um eletroímã. As forças eletromagnéticas repelentes e atraentes dos ímãs são responsáveis por fornecer o torque que faz com que o motor de corrente contínua possa rotacionar. Esses motores serão usados na construção do portão da garagem e do elevador da casa. Pode ser visto na Figura 3.1

3.2.2. Sensor de iluminação. O sensor de iluminação LDR (do inglês Light Dependent Resistor), foi escolhido para ser utilizado no projeto. O LDR é um componente eletrônico passivo do tipo resistor variável, mais especificamente, é um resistor cuja resistência varia conforme a intensidade da luz (iluminamento) que incide sobre ele. Tipicamente, à medida que a intensidade da luz aumenta, a sua resistência diminui. O LDR é construído a partir de material semicondutor com elevada resistência elétrica. Quando a luz



FIGURA 3.2. LDR



FIGURA 3.3. Módulo Bluetooth Serial

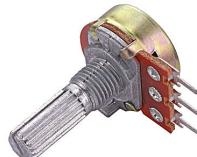


FIGURA 3.4. Potênciometro

que incide sobre o semicondutor tem uma frequência suficiente, os fótons que incidem sobre o semicondutor libertam elétrons para a banda condutora que irão melhorar a sua condutividade e assim diminuir a resistência. Pode ser visto na Figura 3.2.

3.2.3. Módulo Bluetooth Serial. Este componente foi ligado ao microcontrolador e possibilita a comunicação entre esse e o celular através do protocolo padrão de comunicação Bluetooth. Enquanto os componentes estiverem dentro do raio de alcance, a há transmissão de dados e o morador da residência pode controlar as funcionalidades da casa com um celular com sistema operacional Android. Para gravar o código no arduino este módulo deve estar desligado. Pode ser visto na Figura 3.3.

3.2.4. Potenciômetro. Um potenciômetro é um componente eletrônico que possui resistência elétrica ajustável. Geralmente, é um resistor de três terminais onde a conexão central é deslizante e manipulável. Se todos os três terminais são usados, ele atua como um divisor de tensão.¹

Existem comercialmente, potenciômetros confeccionados com substrato em fio e carvão condutivo, a depender da corrente elétrica que circula nestes. Há potenciômetros cujo giro é de 270 graus e outros de maior precisão chamados multivoltas. O utilizado em nosso trabalho é de 270º e 10k.

3.3. Microcontrolador. Para controlar toda as funções propostas foi utilizado um microcontrolador Funduino Uno, idêntico ao Arduino Uno, porém de fabricante diferente. Um microcontrolador é basicamente um pequeno computador, capaz de realizar todas as funções que haviam nos primeiros computadores domésticos. Ele contém uma pequena memória RAM, cerca de dois quilobytes, um processador e pinos de entrada e saída. Os últimos são responsáveis pela conexão do microcontrolador com os outros componentes eletrônicos. As entradas podem ler sinais digitais e analógicos, possibilitando diferentes conexões dos mais diversos tipos de sensores. Da mesma forma, as saídas também podem ser digitais e analógicas, permitindo a ativação/desativação de dispositivos, controle gradual da saída, como variação da velocidade de um motor e a comunicação com o aplicativo no celular via bluetooth.

No caso, o microcontrolador Funduino é um chip instalado em um soquete no centro da placa, contendo 28 pinos. Esse dispositivo é amplamente utilizado no mercado, nas mais diversas aplicações, desde tocadores de DVD até automóveis.



FIGURA 3.5. Funduino Uno



FIGURA 3.6. Interface Aplicativo

Para gravar o programa do arduíno no microcontrolador, obrigatoriamente o módulo Bluetooth deve estar desligado.

3.4. Aplicativo no Celular. Para portabilizar o controle da casa, foi criado um aplicativo de celular com sistema operacional Android. Ele possui interface simples, possibilitando o fácil controle das funcionalidades da casa com simples toques na tela de um celular.

O aplicativo foi criado em linguagem de programação Java, uma linguagem de programação orientada a objetos e ambiente de desenvolvimento Android Studio. Esse aplicativo se comunica com o microcontrolador para saber qual o estado atual da rede de petri, envia comandos para mudança de estado da rede e atualiza o estado da casa na tela do celular para que o morador saiba quais as funcionalidades estão ligadas e quais não.

A figura 3.6 mostra a simplicidade da interface e como o aplicativo interage com o usuário. Na primeira tela vemos todos os cômodos da casa e ao selecionarmos um, temos na segunda tela todas as opções de controle.

Vale ressaltar que para o aplicativo funcionar o módulo Bluetooth serial precisa estar pareado com o Smartphone. O módulo é encontrado pelo nome de linvor e a senha para o pareamento é 1234.

4. DESENVOLVIMENTO

Primeiramente, para tentar alcançar o máximo de objetivos possível, foi criado um cronograma do projeto, que auxiliaria na execução e controle do tempo. Também foi criado um diretório compartilhado com todos os arquivos envolvidos, facilitando a troca de informação e divisão de tarefas. Nos subtópicos abaixo estão elencadas as etapas do projeto.

4.1. Propostas iniciais e Requisitos. Nessa etapa, toda a equipe foi reunida para definir como seria a casa inteligente, quais funções ela teria e como ela deveria ser modelada. A conclusão foi criar uma casa que continha uma suíte, uma sala de televisão integrada com uma sala de jantar, um lavabo, uma cozinha e uma área externa. Foi definido também que o quarto deveria contar com um acionamento remoto da iluminação e um controle de temperatura, responsável por acionar o ar condicionado quando a temperatura ultrapassa um valor pré-estabelecido. Na sala, devemos criar um controle de iluminação que permite gerar vários ambientes. Podemos gerar, por exemplo, o ambiente de cinema, onde a iluminação é baixa e a janela está fechada, ou um ambiente padrão, com uma iluminação forte e a janela aberta. Para isso, precisamos criar um mecanismo de acionamento da janela, além de determinar a luminosidade da sala com um sensor e controlar a intensidade da luz a partir de sua resposta. Também seria interessante criar um acionamento remoto do portão da garagem e um aquecimento, também remoto, da banheira da sala de banho. Esta última função permitiria que o morador programasse seu banho a uma temperatura escolhida e pudesse aguardar o seu preparo sem se preocupar. Com as propostas feitas, uma lista de requisitos foi criada, podendo ser encontrada no arquivo em anexo com o nome “Levantamento de requisitos.xlsx”. Nessa lista, elencamos tudo o que será necessário para seguirmos com o projeto.

4.2. Design da casa. Com o auxílio do software SketchUp 2013, a casa foi modelada de acordo com a proposta definida. Na Figura 4.1 é possível verificar o desenho final da planta da casa (interna). Como na proposta, a casa contém um quarto, uma sala conjugada, uma cozinha, dois banheiros, uma garagem e a área externa. Com a casa modelada, a opção escolhida para construção de sua maquete foi através de palitos de madeira em uma base de isopor. Nas figuras, é possível visualizar a estrutura externa da planta, com a visualização do telhado (inovação proposta nesta versão).



FIGURA 4.1. Planta - Estrutura interna



FIGURA 4.2. Planta - Estrutura externa

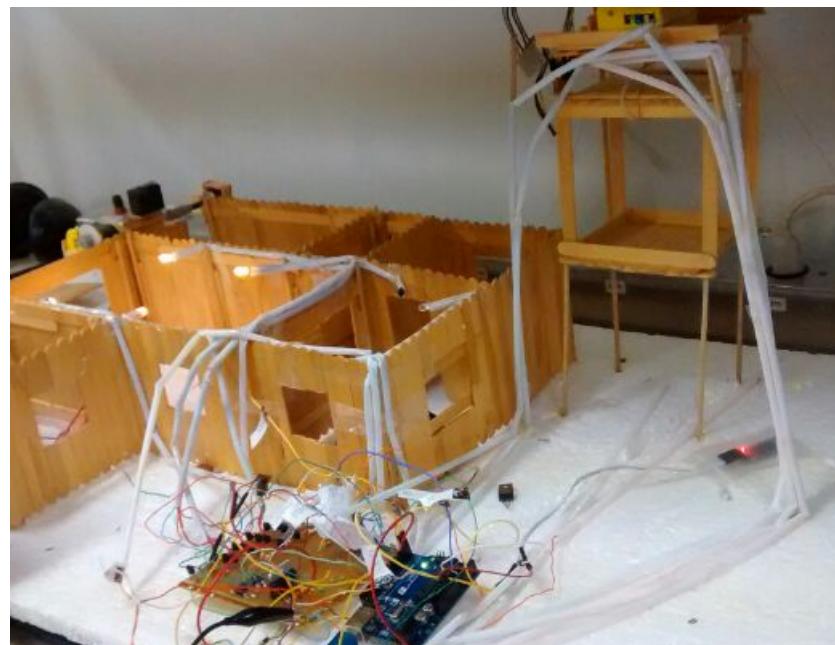


FIGURA 4.3. Conduíntes - Encapsulamento dos fios

4.3. Circuitos Eletrônicos. A maioria dos circuitos são simples, formados apenas por dispositivos eletrônicos básicos como resistores, transistores BJT e leds. A única exceção é o circuito do motor de passo, que utiliza dois circuitos integrados: o L297, um controlador de motor de passo e o L298, um driver ponte-H duplo.

Como dito anteriormente, uma das melhorias estruturais propostas foi o encapsulamento dos fios em conduíntes (canudinhos de plástico) com o intuito de facilitar a visualização e manutenção dos circuitos. Na figura 4.3 é possível verificar como tal encapsulamento foi realizado.

O circuito de iluminação do quarto funciona com uma entrada PWM do arduino que comanda os transistores que funcionam como chaves. Quando os transistores *fecham* os leds emitem luz com uma intensidade proporcional à entrada PWM.

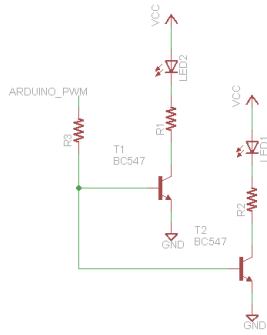


FIGURA 4.4. Iluminação do quarto

O circuito de iluminação da sala é a extração do circuito de iluminação do quarto para um led RGB, que são basicamente três leds dentro de um encapsulamento com um ânodo comum. Cada um desses leds possui uma cor diferente. A cor dos fios que conectam esses leds individuais à placa foi definida como sendo exatamente a mesma do led. Por exemplo, um led vermelho é soldado a um fio de cor vermelha.

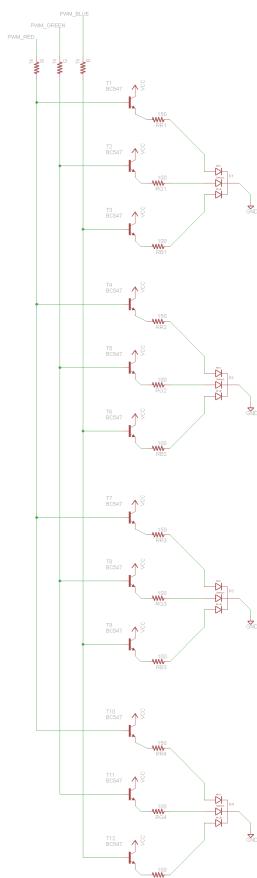


FIGURA 4.5. Iluminação da Sala

O transistor funciona como uma chave no circuito do motor DC.

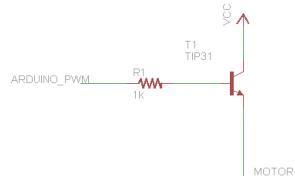


FIGURA 4.6. Motor DC

O arduino tem três saídas digitais para o circuito do motor de passo. Uma delas define a direção que o motor deve girar, outra define se o passo deve ser inteiro ou meio e, por último, existe uma saída que com um pulso baixo define um passo a ser dado pelo motor.

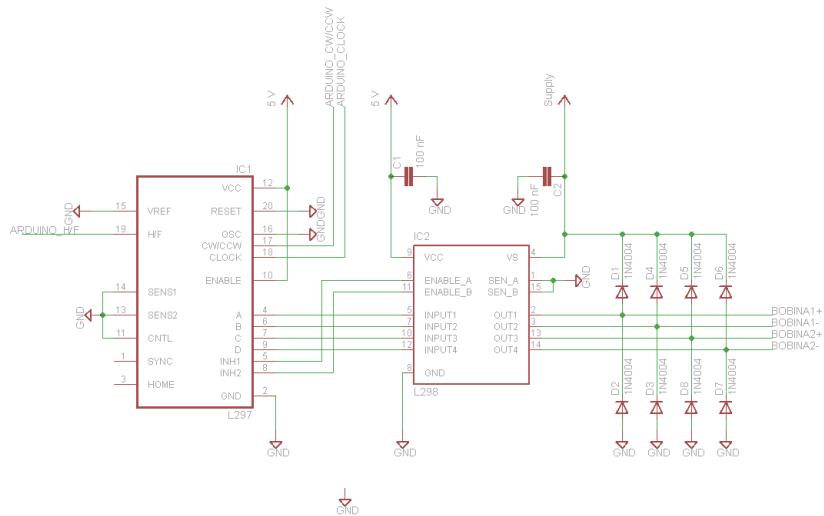
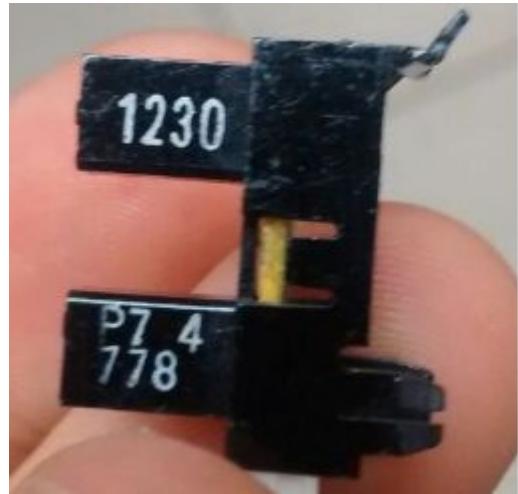


FIGURA 4.7. Motor de Passo

O sensor de fim curso superior o funcionamento é baseado no encoder (Figura 4.8), formado por um LED (diodo emissor de luz) e um transistor fotossensível. Quando não há obstáculos, a luz emitida pelo LED consegue atingir o transistor enviando um sinal para o arduino. No entanto, quando um obstáculo passa entre eles, a luz emitida pelo LED não chega até o transistor e um sinal de nível lógico diferente é enviado ao arduino.

O sensor inferior funciona como uma “chave” simples. Quando os parafusos presos à extremidade inferior do elevador encontram com os parafusos presentes na base de isopor, o circuito é aterrado e o movimento do elevador é interrompido. Esse sinal é enviado ao arduino através da porta analógica do mesmo. Um resistor de $10K\Omega$ é utilizado para evitar curto circuito entre o VCC e o GND.

Os circuitos dos sensores estão ilustrados nas figuras 4.9a e 4.9b

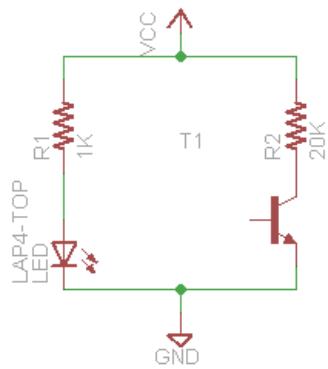


(A) Foto lateral do sensor de fim de curso

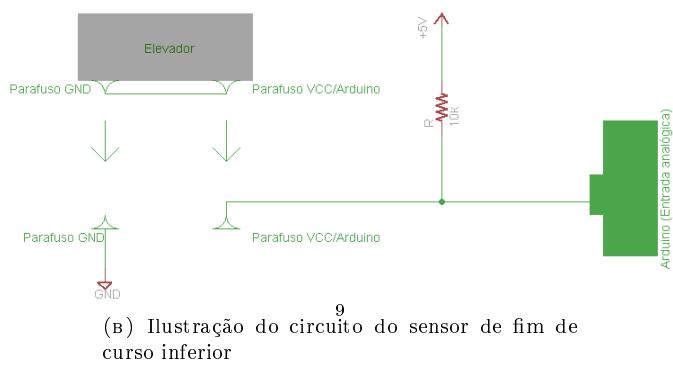


(B) Foto do fundo do sensor de fim de curso

FIGURA 4.8. Encoder (sensor de fim de curso)



(A) Ilustração do circuito do sensor de fim de curso superior



(B) Ilustração do circuito do sensor de fim de curso inferior
9

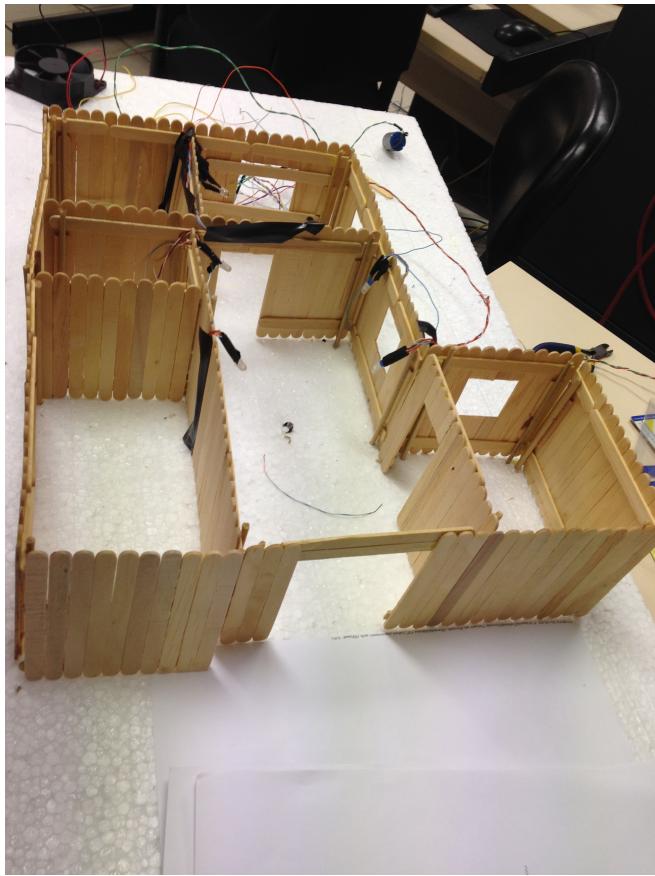


FIGURA 4.9. Maquete da casa

4.4. Construção da maquete. Com todos os itens comprados, a maquete foi construída com palitos de madeira, cola de madeira e isopor, de maneira que representasse bem a casa modelada. A ?? é a foto da maquete construída.

4.4.1. Telhado. O telhado foi feito com os mesmos componentes utilizados na casa ou seja, palitos de picolé e cola para madeira. A ideia inicial era que apenas uma parte da casa seria coberta pelo telhado e o restante seria o espaço para a construção de um segundo andar.

4.4.2. Elevador. O elevador é formado por palitinhos de picolé, na forma de um cubo aberto em quatro lados, e é sustentado por um fio de nylon, que está conectado no eixo do motor fixado com cola de madeira no topo de uma estrutura também composta por palitinhos. Logo, o elevador é içado dentro dessa estrutura, mantendo-o em um movimento estritamente vertical. Para garantir a estabilidade da estrutura, optou-se por uma estratégia simples de treliças ortogonais entre as colunas de palitinhos incorporadas com estais formadas de linhas de costura.

O elevador utiliza um motor de corrente contínua para se locomover que é acionado através de uma das saídas da ponte H. Para controlar o elevador foi utilizado dois sensores de fim de curso responsáveis por parar o elevador na hora correta. Esse controle é feito pelo próprio arduino. Para controlar a chegada do elevador no topo, utilizou-se um encoder, o qual caracteriza-se por ser um sensor fotossensível que emite uma luz infravermelha de uma extremidade a outra. O elevador possui uma protuberância no seu teto para que ele interrompa a emissão de luz quando o elevador atinge uma determinada altura.

Para detectar o fim de curso da descida do elevador foram utilizados quatro parafusos. Dois ficam no elevador e outros dois ficam no chão.

4.4.3. Portão da Garagem. Para a construção do portão da garagem foi utilizado um motor de corrente contínua com uma redução, um potênciometro e palito de madeira. A medida que o motor gira, a conexão central do potênciometro que se encontra ligado ao seu eixo de rotação do motor, enviará sinais para o arduino indicando o ângulo de abertura do portão. Através de um controlador PID, este ângulo de abertura será controlado.



FIGURA 4.10. Elevador - Visão oblíqua

4.5. Construção dos circuitos. Para construir os circuitos projetados, utilizamos uma placa de Fenolite padrão. Soldamos todos os componentes na placa de acordo com os circuitos projetados, incluindo os componentes que ficam internamente na casa, como os sensores e LEDs. Uma observação importante sobre essa parte do trabalho foi que precisamos adaptar alguns componentes para viabilizar a construção na maquete, como no caso do ar condicionado, que substituimos por uma ventoinha, retirada de um cooler de computador.

4.6. Rede de Petri. A rede de petri foi implementada considerando os módulos 'Ventilador', 'Iluminação do quarto', 'Motor elétrico do portão', 'Iluminação da sala' e 'Motor elétrico do elevador'. A arquitetura da rede de petri contribui, através da definição dos lugares e transições, à determinar os sinais de comando do sistema. Como mostrado na Figura 4.11.

4.7. Código Arduino. O arduino foi utilizado para implementação de uma rede de petri para controlar toda a casa. A arquitetura é basicamente um interpretador de sinais e uma interface com o usuário que geram comandos para disparar transições da rede de petri. A arquitetura também conta com uma lógica de saída para gerar os sinais para o circuito com base nos estados dos lugares da rede de petri.

O interpretador de sinais funciona a partir da interpretação dos dados do conversor anlógico-digital já embutido no arduino. Os sensores utilizados são o sensor de luminosidade e sensor de temperatura (LM35). Com as medidas dos conversores A/D são criadas simples estruturas da seguinte forma:

- (1) Se a *medida* for maior que a medida ideal
 - (a) Ativa o comando que dispara a transição relacionada com a *diminuição* da *medida*
- (2) Caso contrário, se a *medida* for menor que a medida ideal
 - (a) Ativa o comando que dispara a transição relacionada com o *aumento* da *medida*

Caso o controle fosse do tipo liga-desliga (on-off), ao invés de aumentar ou diminuir, o sistema ligaria ou desligaria o objeto de interesse.

A interface com o usuário é apenas ativações de comandos com base na entrada do usuário:

- (1) Caso o usuário entre com *c*
 - (a) Ativa a transição relacionada com *c*
- (2) Caso o usuário entre com *d*
 - (a) Ativa a transição relacionada com *d*
- (3) ...

A lógica de saída funciona de duas maneiras diferentes. Para as saídas que devem ser PWM é usada a função imbutida do arduino que recebe a intensidade do sinal como um valor inteiro de 0 a 255. Esse valor de intensidade é diretamente proporcional ao número de fichas do lugar associado à saída. Já para

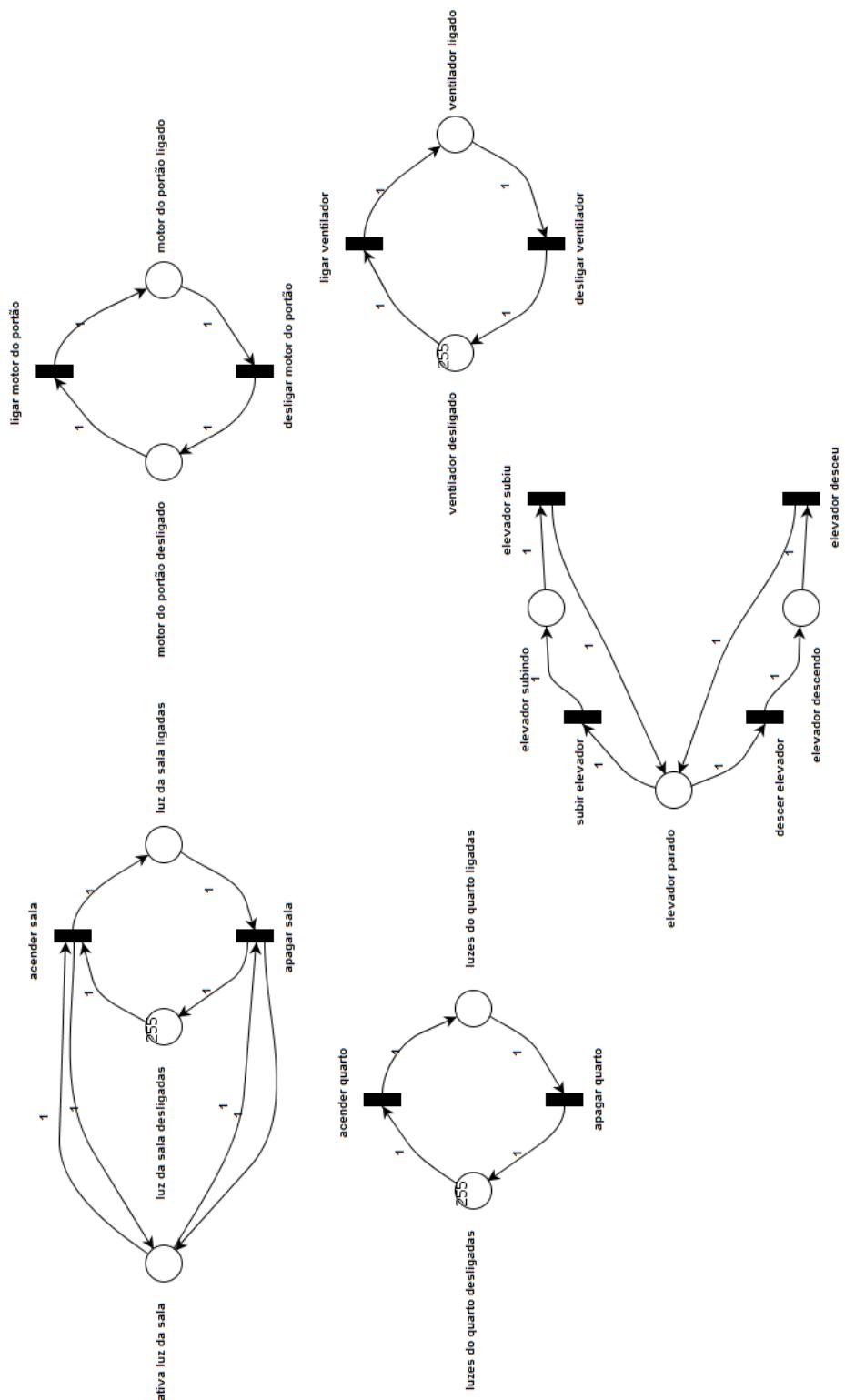


FIGURA 4.11. Rede de Petri Implementada

as saídas do tipo digital, como todas estão atreladas a uma estrutura do tipo on-off ou é um comando do usuário, elas serão definidas diretamente de maneira que o estado ligado é atrelado a TRUE e desligado é atrelado a FALSE. No caso de comando do usuário, o comando é utilizado como um interruptor que liga ou desliga o sistema ao ser ativado.

4.8. Integração Final. A etapa final do projeto foi integrar os circuitos, já montados na casa, com o código desenvolvido no Arduino. Essa etapa gerou diversos contratemplos, como problemas de regulação de sensores, intensidade de iluminação, entre outros. Para obter o melhor resultado, os circuitos foram testados individualmente, e a medida que um circuito funcionava, um outro passava a ser testado. Outro problema enfrentado nessa etapa foi a verificação de montagens de circuito com problemas, que precisaram ter suas conexões, soldas e dispositivos reanalisados para funcionarem adequadamente.

5. CONCLUSÃO

Inicialmente foi desejável desenvolver outras melhorias para a casa, mas no decorrer do projeto, percebeu-se que não seria possível realizar todas as melhorias por questão de tempo. Porém, as que foram feitas causaram mudanças significativas no projeto inicial (tabela 1). A criação do aplicativo fez com que fosse retiradas linhas e colunas na rede de petri inicial, simplicando-a para considerar somente as funcionalidades implementadas.

As melhorias estruturais propostas (telhado e conduítes) foram realizadas com sucesso e ajudaram muito na realização das tarefas subsequentes. A construção da estrutura física do elevador foi feita com antecedência e, apesar de algumas imperfeições provenientes do próprio material do qual foi feito, ele desempenhou o papel para o qual foi projetado. No caso do portão eletrônico, sua estrutura física foi implementada também com sucesso.

O grande desafio encontrado pelo grupo foi no controle dos motores utilizados no elevador e no portão. Infelizmente não foi possível realizar tal controle devido, principalmente, à falta de planejamento no estudo do CI L298 (ponte H). O erro não foi encontrado pelos integrantes do grupo, mas o fato é que os valores medidos nas extremidades dos motores são iguais. Na verdade, o correto seria encontrar valores de tensão com sinais opostos nas extremidades dos motores. Como os valores são iguais, o motor fica “travado”, não gerando torque suficiente para girar. Uma boa sugestão para tentar resolver o problema do controle seria um bom estudo prévio do encapsulamento das pontes H (L298), com simulações e testes prévios antes de soldar e criar as trilhas. Além disso, seria interessante passar os circuitos para outra placa, pois a que está em uso já se encontra deteriorada devido às constantes tentativas de soldas. Uma outra sugestão seria considerar novamente o circuito de proteção com diodos de “roda livre” que possuam rápida recuperação em inversões de polaridade, implementados juntamente com o L298, além de aterrar os pinos de sensor de corrente 1 e 15 da ponte H (L298). É possível que tenham ocorridos danos às pontes H e/ou motores CC por não ter considerado tais proteções.

REFERÊNCIA

Luís Filipe Gomes da Silva, 'Automação em Ambientes Residenciais', Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro, 2008;

Stepper Motors por Igoe, T. (10 de dezembro de 2013). Fonte: Code, Circuits & Construction: <http://www.tigoe.net/pcomp/code/circuits/motors/stepper-motors/> ;

Platform Independent Petri net Editor 2. (10 de dezembro de 2013). Fonte: <http://pipe2.sourceforge.net/> ;

Arduino Language Reference. (10 de dezembro de 2013). Fonte: Arduino: <http://arduino.cc/en/Reference/HomePage>;