

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROJETO DE GRADUAÇÃO



RAFAEL FRICKS DOS SANTOS

SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA CONTROLAR LOTAÇÃO DE
AMBIENTES

VITÓRIA

2022

RAFAEL FRICKS DOS SANTOS

**SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA CONTROLAR LOTAÇÃO DE
AMBIENTES**

Projeto de Graduação do aluno **Rafael Fricks dos Santos**, apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção Grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Prof. Dr. Camilo Arturo Rodríguez Díaz
Orientador

Prof. Dr. Hans-Jorg Andreas Schneebeli
Coorientador

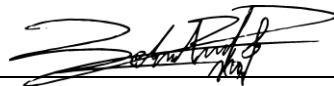
VITÓRIA
2022

RAFAEL FRICKS DOS SANTOS

SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA CONTROLAR LOTAÇÃO DE AMBIENTES

Projeto de Graduação do aluno **Rafael Fricks dos Santos**, apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção Grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

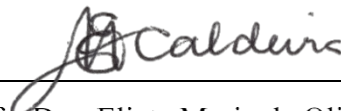
Comissão Examinadora:



Prof. Dr. Camilo Arturo Rodríguez Díaz
Orientador



Prof. Dr. Hans-Jorg Andreas Schneebeli
Coorientador



Profª. Dra. Eliete Maria de Oliveira Caldeira
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador



Prof. Dr. Ricardo Carminati de Mello
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

Vitória, 25 de Março de 2022

Dedico este trabalho a todas as vítimas da Covid-19. Em especial, meu amado tio.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à...

Poderia aqui criar hierarquias de agradecimentos, porém, não seria correto sabendo que cada um que contribuiu para este projeto, ajudou com o que o podia. Portanto, agradeço de coração a todos estes citados:

A Deus, por guiar todo meu caminho até aqui, me dando direção e fé de que o caminho que segui é o correto.

A minha família, por estarem sempre ao meu lado em toda minha graduação, me aconselhando, apoiando e principalmente me dando bases para seguir em frente.

A minha namorada, por todo apoio.

Aos meus orientadores, por estarem sempre dispostos a me ajudar, me orientar e me direcionar.

A banca examinadora, que forneceu sugestões ótimas para enriquecimento deste projeto.

Aos meus colegas do IST, por me disponibilizarem o espaço e ferramentas.

E por fim, a todos os meus amigos que me proporcionaram dias melhores na UFES, seja para almoçar, estudar, conversar e rir juntos.

A todos vocês,

Meu muito obrigado.

“Em seu coração o homem planeja o seu caminho, mas o Senhor determina os seus passos.”

(Provérbios 16:9)

RESUMO

Este trabalho mostra o desenvolvimento de um dispositivo de baixo custo para atender a situação emergente da Covid-19 que permita o controle da quantidade de pessoas em ambientes fechados. Ele utiliza um microcontrolador conectado a um sensor de distância a laser com duas regiões de interesses programadas, e fixado no batente superior da porta. Quando o movimento de uma pessoa é detectado em ambas as regiões, significa que um indivíduo está atravessando a porta e com o devido tratamento via programação com a linguagem C/C++, é possível determinar se este indivíduo está entrando ou saindo do ambiente.

Este dispositivo conta com um mostrador de sete segmentos para informar quantas pessoas estão dentro do lugar de fato, e também utiliza um *Light Emitting Diode* (LED) da cor verde para informar que o espaço não atingiu o limite máximo e tem espaço para mais gente adentrar o local. Permitindo assim o seu uso em ambientes que envolvam um grande número de pessoas, como por exemplo, salas de aula em uma instituição de ensino.

Palavras-chave: Aglomeração. Controle de lotação. Contagem de pessoas. Fluxo. VL53L1X. Porta.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1. O PROBLEMA DE CONTAGEM DE PESSOAS	12
1.2. TECNOLOGIAS USADAS	13
1.3. OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.4. METODOLOGIA E ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO.....	14
1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2. CONTAGEM DE PESSOAS	16
2.1. CONTAGEM DE PESSOAS NO AMBIENTE.....	16
2.2. CONTAGEM DE PASSAGEM DE PESSOAS	17
2.2.1. USO DE CÂMERAS	18
2.2.2. SENSORES DE BARREIRAS	18
2.2.2.1. SENSORES INFRAVERMELHOS.....	18
2.2.2.2. SENSORES ULTRASSÔNICOS TIPO BARREIRA	19
2.2.3. SENSORES DE DISTÂNCIA.....	20
2.2.3.1. SENSOR ULTRASSÔNICO PARA MEDIÇÃO DE DISTÂNCIA.....	20
2.2.3.2. SENSORES ÓPTICOS.....	22
2.3. COMPARAÇÃO DAS TECNOLOGIAS	23
2.4. ARQUITETURA DO SISTEMA PROPOSTO	25
2.4.1. SENSOR UTILIZADO	26
2.4.2. MICROCONTROLADOR.....	28
3. SISTEMA DE CONTROLE DO FLUXO DE PESSOAS.....	31
3.1. HARDWARE E SOFTWARE	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
5. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sensor óptico do tipo reflexão difusa.....	19
Figura 2 – Princípio de funcionamento do sensor de ultrassom.....	20
Figura 3 – Sensor de ultrassom para medição de distância	21
Figura 4 – Princípio de funcionamento do sensor a laser	22
Figura 5 – Método de contagem por câmera	23
Figura 6 – Método de contagem por sensor ultrassônico de distância	24
Figura 7 – Método de contagem por sensores ópticos.....	25
Figura 8 – Sensor VL53LIX.....	26
Figura 9 – Especificação de uma região de interesse dentro da matriz 16x16.....	27
Figura 10 – Diâmetro de medição do sensor em função da distância	28
Figura 11 – Método de contagem pelo sensor VL53L1X	31
Figura 12 – Configuração da máquina de estados para controlar lotação de ambientes	32
Figura 13– Esquemático de montagem do hardware do projeto	34
Figura 14 – Teste realizado para calibração das zonas.....	36
Figura 15 – Montagem do protótipo.....	37
Figura 16 – Finalização da montagem do protótipo	38
Figura 17 – Protótipo Finalizado	39
Figura 18 – Protótipo em funcionamento	40
Figura 19 - Pseudocódigo realizado para obtenção das entradas da máquina de estados	41
Figura 20 - Obtenção de um perfil superior no momento da passagem de pessoas	43

LISTA DE QUADROS

Tabela 1 – Comparação dos microcontroladores destacados	29
Tabela 2 – Levantamento do custo do projeto.....	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADC	<i>Analog Digital Converter</i>
ARM	<i>Advanced RISC Machine</i>
Covid-19	<i>Coronavirus Disease 2019</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
DAC	<i>Digital Analog Converter</i>
I2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
Lidar	<i>Light Detection and Ranging</i>
PWM	<i>Pulse width modulation</i>
ROI	<i>Region Of Interest</i>
SRAM	<i>Static Random Access Memory</i>
VCC	<i>Voltagem Corrente Contínua</i>
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, diante a situação de calamidade pública da doença por Covid-19 (Coronavirus Disease 2019), se vê a necessidade do distanciamento social. Profissionais da saúde e autoridades têm destacado, como medida preventiva à propagação da Covid-19, causada pelo novo coronavírus, a relevância de que os brasileiros evitem aglomerações e o contato próximo com outras pessoas. A recomendação ocorre porque a transmissão pelo vírus costuma ocorrer pelo ar ou por contato pessoal com secreções contaminadas (Portal do Governo, 2020).

Assim se torna necessário controlar a quantidade de pessoas em ambientes fechados e a contagem manual de pessoas pode demandar pessoas integralmente dedicadas a esta tarefa, que seria muito caro em casos de uma grande quantidade de ambientes, como por exemplo, salas de aula.

A tecnologia está em constante evolução e à medida que os problemas surgem, ela se torna uma grande ferramenta para criar estratégias eficazes e práticas para auxiliar na solução de problemas. Lorenzini (2005) diz que a expansão de acervo de conhecimentos científicos e tecnológicos, além das modernas tecnologias de informação e comunicação auxiliam para resolução de problemas específicos, podendo recorrer a diversos dados e especialistas disponíveis em lugares distantes daqueles da qual se desenvolve a resolução do problema.

Assim, a ciência e a tecnologia se fundem às atividades produtivas em razão da geração e gestão do conhecimento, sendo determinantes em estabelecer um novo perfil social e econômico, no qual a sociedade se torna dependente de novas maneiras de gerar riqueza, motivo que sempre se reestrutura e operacionaliza suas instituições. A Engenharia tem sua manutenção de base de conhecimento dependente da pesquisa em tecnologia, que dita objetivos e rumos da profissão.

Neste cenário de calamidade pública, a Engenharia Elétrica em seu campo de saber desempenha um papel fundamental de projetar novas soluções que sejam capazes de auxiliar no processo de controle de contágio, evitando a aglomeração de pessoas em um ambiente fechado. Este trabalho visa desenvolver um dispositivo para atender a situação emergente da Covid-19 para controlar aglomerações em ambientes fechados. Este dispositivo informa a quantidade de

peças existentes no local a partir de um sensor de baixo custo, permitindo assim o seu uso em ambientes que envolvam um grande número de pessoas, como por exemplo, salas de aula em uma instituição de ensino.

1.1. O PROBLEMA DE CONTAGEM DE PESSOAS

Em muitos lugares ou eventos, espaços lotados aumentam o contágio de gripes virais mesmo tomando-se medidas preventivas. Neste contexto, se faz necessário um dispositivo que informe a lotação de ambientes para evitar aglomerações e assim contágios.

No cenário atual, devido à Covid-19, algumas medidas de contagem manual estão sendo realizadas como, por exemplo, alguns supermercados distribuem fichas para os clientes que entram, fazendo desta forma a estimativa de pessoas no espaço. Porém, muitas pessoas não devolvem as fichas ao sair ou as perdem, impossibilitando que se saiba quantas pessoas há dentro do estabelecimento, tornando o método de distribuição de fichas ineficaz.

Beck, Boff e Piaia (2021) dizem que a pandemia da Covid-19 ensinou o mundo o quanto as tecnologias podem ser necessárias na prevenção, monitoramento de pessoas e mapeamento de zonas de risco de infecção e citam uma inteligência artificial baseada em *Deep Learning*, que identifica indivíduos que não estão usando máscara, o que auxilia na prevenção da propagação do vírus. Essa tecnologia tem como intuito atuar em setores aeroportuários e outros controles de fronteiras.

Além disso, em relação aos transportes públicos, embora haja regra quanto à quantidade máxima de passageiros, não há uma informação de extrema importância, sobre quantas pessoas se encontram no veículo. Dessa forma, um dispositivo que realiza esta função de forma clara e precisa, simplifica as medidas protetivas de não aglomeração contra a Covid-19 no meio de transporte como também nas regras de limite máxima de pessoas no local, tornando-as mais eficazes, além de possibilitar ao passageiro a opção de uso de um outro veículo ou meio de transporte.

1.2. TECNOLOGIAS USADAS

Este projeto se enquadra no campo da automação e controle, pela sistematização de um processo envolvendo atuadores, controladores e sensores. Os resultados são regidos pela codificação do *software* em conjunto com a capacidade do *hardware*. No caso de processamento de imagens será necessária uma placa de controle com um alto poder de processamento e memória, e no caso de sensores será necessário um dispositivo controlador com uma alta velocidade de aquisição de dados e seus devidos processamentos.

Existem inúmeras placas para desenvolvimento com microcontroladores integrados. Dentre estes se encontra Arduino, STM-32, Raspberry Pi Pico, ESP-32, entre outros. Cada um destes possui suas particularidades e preços, o que torna necessário avaliar suas especificações, como memória *flash* e SRAM (*Static Random Access Memory*), interfaces de comunicação, velocidade de processamento, quantidade e níveis de tensão nas portas e por fim, preço. Estas especificações são suficientes para escolher o melhor controlador que atenderá ao projeto.

1.3. OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O objetivo geral do projeto de graduação aqui proposto, é desenvolver um dispositivo que controle a lotação monitorando a entrada e a saída de pessoas de um determinado ambiente através do monitoramento de uma porta que é o caso das salas de aulas informando através de um *display* a quantidade de pessoas ali presentes.

Para alcançar esse objetivo geral, os objetivos específicos foram definidos, a saber:

1. Monitorar a movimentação de pessoas em uma porta, determinando se há pessoas entrando e/ou saindo de forma sequencial.
2. Incrementar a quantidade no caso de ingresso e decrementar a quantidade no caso de saída.
3. Mostrar a quantidade de pessoas presentes em um *display* com a possibilidade de zerar contagem.

4. Possibilitar a configuração da quantidade máxima de lotação da sala e sinalizar extrapolação deste *setpoint*.
5. Oferecer mecanismos que possibilitem o uso de dispositivo para casos de mais de uma porta ou com largura da porta fora dos padrões convencionais.

1.4. METODOLOGIA E ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO

Inicialmente o projeto se enquadra como pesquisa bibliográfica e documental, já que é necessário obter informações suficientes para criar um dispositivo que possua um bom custo benefício.

Após definir os equipamentos a serem utilizados, a pesquisa se tornará aplicada de modo a obter conhecimentos técnicos para desenvolver a programação do microcontrolador em conjunto com o sensor.

Em seguida, a abordagem utilizada será quantitativa. Por meio de simulações e testes de campo serão obtidos dados referentes às medições do sensor, que serão vitais para o ajuste do dispositivo.

A pesquisa e as atividades podem ser divididas nas seguintes etapas:

1. Pesquisa teórica: Analisar o uso de diferentes tipos de sensores para controlar a movimentação de pessoas pelas portas;
2. Comparação orçamentária: Levantamento de custos e escolha dos que obtiverem melhor custo e benefício;
3. Simulação: Teste em campo para coleta de dados e verificação de eficácia.
4. Programação em C e C++: Desenvolver o *software para o* microcontrolador realizar o tratamento de dados do sensor;
5. Ajustar programação: Ajuste de código para tratamento de dados do sensor referentes à circulação de pessoas;
6. Documentação: Elaboração do texto contendo descrição dos experimentos, resultados e análise;
7. Apresentação final e defesa do projeto;

1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

Nas seções anteriores, foi salientado como a aglomeração de pessoas em um local propicia o aumento do contágio de doenças virais e foram apresentados também possíveis tecnologias e métodos que ajudariam a chegar mais perto de uma solução para este problema.

No Capítulo 2 serão exemplificadas estas possíveis tecnologias e métodos que elas proporcionam, e através de comparações realizadas das características funcionais, preço e também número de dispositivos no sistema embarcado, será determinado o método, o sensor e o microcontrolador para a realização do projeto.

Após definidos os dispositivos, no Capítulo 3 é descrito o circuito eletrônico do sistema e também a sistemática do *software* desenvolvido para o microcontrolador. Com o sistema definido, no Capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos, e o processo de montagem do protótipo. No Capítulo 5, as conclusões são explicitadas, e as sugestões de melhorias futuras são discutidas.

2. CONTAGEM DE PESSOAS

Parte da execução deste projeto é avaliar possíveis soluções para alcançar o objetivo geral com baixo custo. As soluções abordadas neste projeto podem ser classificadas de acordo com os métodos de contagem definidos a seguir:

1. Método de contagem de pessoas em um ambiente
2. Método de monitoramento da passagem de pessoas pelas portas.

2.1. CONTAGEM DE PESSOAS NO AMBIENTE

Este método consiste na contagem de pessoas dentro de um ambiente. Para realizar tal feito, o ideal seria o uso de câmeras. Para o caso de câmeras comuns, um melhor custo e benefício seria optar por câmeras de baixa resolução. Neste caso são usadas várias câmeras espalhadas pela sala, e a partir das imagens coletadas, usa-se o método de visão computacional para identificar as variações que ocorrem a cada frame, salvar posições e com o devido tratamento dessas imagens identificar quantas pessoas há no local.

A segmentação do plano de fundo é o primeiro passo em diversas aplicações de visão computacional. Usualmente é obtido em sistemas de detecção humana calculando a diferença pixel-a-pixel entre o frame atual e a imagem do plano de fundo, seguido por uma limiarização automática (Velipasalar et al., 2006). Huang e Chow (2003) utilizam características mais elaboradas para descrever os borrões do primeiro plano e devido a isto contam o número de pessoas na região de interesse. Apesar de ser uma solução eficaz, significaria uma invasão de privacidade.

Ainda poderiam ser usadas câmeras térmicas, o que resolveria o problema da privacidade e reduziria o uso de câmeras uma vez que o processamento seria de leituras térmicas. Dessa maneira, o método usado seria diferente, e até mais eficaz. Ao invés de realizar a contagem através dos movimentos, ela seria feita através das leituras de calor, onde cada “mancha” de calor dentro dos padrões de “calor humano” seria contabilizada como uma pessoa. Porém, ambas soluções resultam em um valor elevado devido à quantidade de câmeras a serem

utilizadas, além de necessitar de uma máquina robusta para realizar o processamento das imagens devido ao alto esforço computacional que este método demanda.

Por isto, uma abordagem mais interessante é fazer o monitoramento do fluxo de pessoas nas portas, demandando desta forma um menor número de equipamentos, obtendo um projeto de menor custo.

2.2. CONTAGEM DE PASSAGEM DE PESSOAS

Segundo Boyle, Hlavac e Sonka (2009), o interesse em processar o movimento tem aumentado nos últimos anos, devido aos avanços das metodologias de análise e ao aumento da capacidade de processamento. Novos aplicativos são motivados pelas necessidades de detecção e rastreamento da face humana, detecção de movimento de pedestres e veículos, ou ainda na assistência a condutores, veículos autônomos, navegação de robôs e interface de usuário.

Quando se avalia o fluxo de pessoas nas portas, é possível fixar o dispositivo na face lateral ou superior do batente da porta. Entretanto, com a fixação na face lateral, para contabilizar todas as pessoas o dispositivo teria que ser fixado em uma altura de uma criança e estas poderiam tocar ou danificar o protótipo. Portanto, para que o sistema seja mais robusto e menos acessível às pessoas, é mais vantajoso fixar o dispositivo no batente superior. Neste caso, uma câmera apenas é suficiente, seja ela comum ou térmica.

Abre-se campo também para utilização de sensores, que podem se desdobrar em sensores ultrassônicos, lasers ou diodos emissores de luz infravermelhos, sensor de luminosidade dentre outros sensores ópticos de barreiras. Com a utilização desses sensores é possível fazer leituras sobre distância de objetos, detecção de presença e variações de luminosidade. Sinais estes, que com o devido processamento é possível detectar a passagem de pessoas pelo local e tratar casos de entrada e saída simultânea com precisão.

2.2.1. USO DE CÂMERAS

A implementação da detecção de movimento através de imagens pode ser feita principalmente por meio de duas técnicas: a primeira consiste na subtração do fundo, que corresponde na diferença entre o modelo do ambiente e a imagem atual captada, e a segunda é através da diferença temporal entre quadros sucessivos (WANG et al., 2004).

No controle de fluxo de pessoas em um ambiente através do processamento de imagens, uma câmera deve ser fixada no batente superior da porta possuindo um campo de visão desde a entrada da sala até o corredor. Uma solução interessante, seria obter a movimentação de pessoas que entram no campo de visão desta câmera e se movimentam de forma a ir do corredor à porta, ou vice-versa. De maneira similar, seria possível realizar esta sistemática de contagem com uma câmera térmica. Assim seria garantido o sigilo de imagem das pessoas e seria um método eficaz para o monitoramento da lotação da sala ou espaço.

2.2.2. SENSORES DE BARREIRAS

Dentre os sensores de obstáculos de longo alcance, se destacam os infravermelhos e ultrassônicos pela capacidade de alcance, custo e usabilidade. Porém estes tipos de sensores não fazem leituras abrangentes de toda a região sob a porta, fazendo-se necessário mais de um sensor para o mapeamento da região.

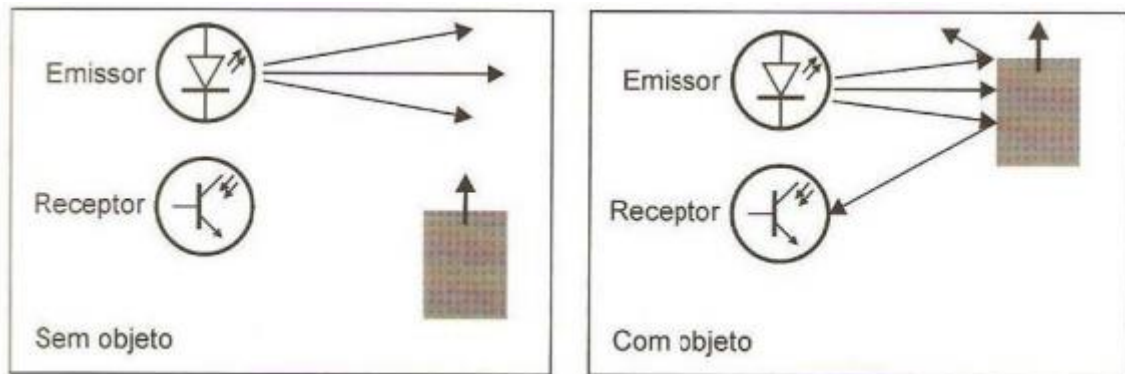
2.2.2.1. SENSORES INFRAVERMELHOS

De acordo com Lima et al. (2009), a radiação na região do infravermelho foi descoberta por William Herschel em 1800, que investigava qual cor da radiação solar produz calor. Em 1930 surgiram os primeiros sensores quando Kautsky e Hirsch propuseram um método para o monitoramento contínuo de oxigênio em baixas concentrações; a espectroscopia na região do infravermelho tem se destacado como técnica analítica.

Os sensores se classificam em ativos ou passivos. Os passivos não emitem luz infravermelha, apenas recebem o sinal luminoso, detectando calor de objetos ou pessoas. Já o ativo, irradia um feixe de luz infravermelha e também possui a função de receptor, desse mesmo tipo de luz conforme a Figura 1. Ele é utilizado em residências para acender as luzes quando é identificada

uma aproximação, através do calor que é emitido do corpo de uma pessoa, assim como relatado por Thomazini e Albuquerque (2020). Os sensores infravermelhos, são muito utilizados em sistemas de segurança e automação pois seu funcionamento independe da luz em espectro visível, possibilitando mensurações em período noturno.

Figura 1 – Sensor óptico do tipo reflexão difusa



Fonte: Thomazini e Albuquerque, 2020.

2.2.2.2. SENSORES ULTRASSÔNICOS TIPO BARREIRA

O sistema do sensor ultrassônico, funciona semelhante ao sonar dos morcegos. Ele tem como princípio de funcionamento a emissão e a recepção de uma onda sonora de alta frequência que pode variar de cerca de 30 kHz até algumas dezenas de MHz (Texas Instruments, 2022).

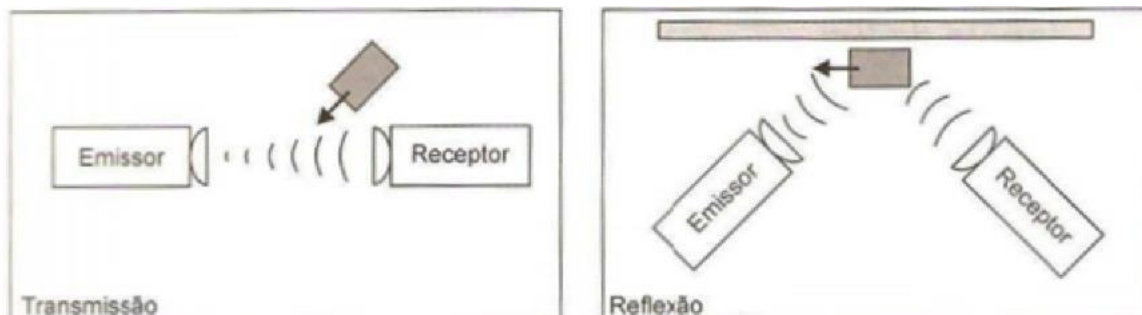
Segundo Thomazini e Albuquerque (2020) os sinais ultrassônicos são como ondas de som audíveis, porém com frequências muito altas. Estes sensores possuem um cristal piezelétrico que é responsável pela conversão de sinais elétricos para sonoros e vice-versa.

As ondas sonoras, na forma de um cone, são transmitidas até o objeto a ser detectado. Quando este objeto é atingido, o sinal resulta em um eco, que é convertido em sinais elétricos pelo transdutor. A detecção desse eco depende da intensidade e da distância entre o objeto e o sensor. É a partir disso que se sabe se o objeto está dentro dos parâmetros programados, ou se está no local de identificação do sensor (Instituto Newton C. Braga, 2021).

Os sensores ultrassônicos possuem muita vantagem em relação a alguns sensores, pois alguns dispositivos conseguem detectar objetos a cerca de quinze metros de distância. Por possuir um som cuja a faixa de frequência não é audível, este sensor não causa perturbações às pessoas. Um outro ponto interessante é que formas de objetos, rugosidade da superfície, ângulo de incidência, umidade do ar e temperatura provocam alterações nas aferições. Então quando se

tratam de situações que as medições devem ser precisas como em ambientes perigosos, por exemplo, recomenda-se uma distância sensorial de, no máximo, dois metros (Thomazini e Albuquerque, 2020).

Figura 2 – Princípio de funcionamento do sensor de ultrassom



Fonte: Thomazini e Albuquerque, 2020.

2.2.3. SENSORES DE DISTÂNCIA

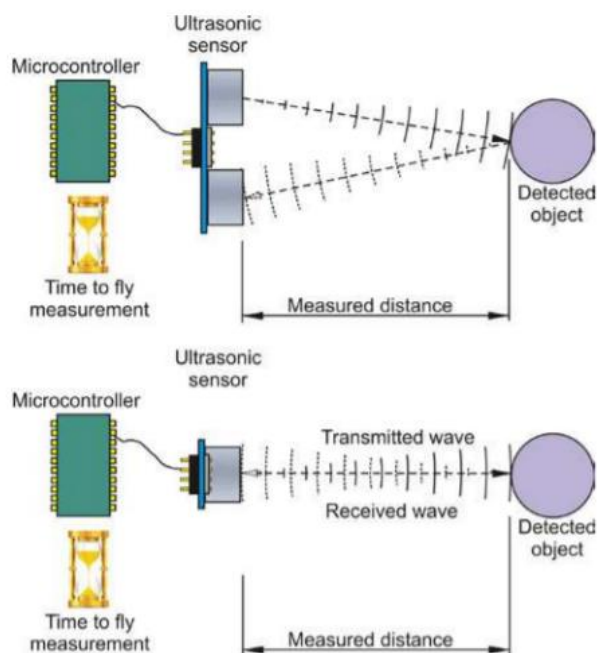
De acordo com a Balluff (2018), uma empresa pioneira na fabricação de sensores industriais, os sensores de distância, também conhecidos como sensores de proximidade, podem atuar com base em diversas tecnologias. Deste modo, podem ser sensores indutivos, ópticos, ultrassônicos e a laser.

Estes tipos de sensores apresentam vantagens quando comparados com os de tipo barreira, pois o transmissor e o receptor encontram-se encapsulados no mesmo dispositivo, o que simplifica as alterações da infraestrutura onde vão ser instalados. Adicionalmente, o fato de fornecer uma medida de distância possibilita a criação de perfis da superfície que está sendo medida.

2.2.3.1. SENSOR ULTRASSÔNICO PARA MEDIÇÃO DE DISTÂNCIA

Já foi explicado em 2.2.2.2 o funcionamento do sensor ultrassônico, porém, o princípio de funcionamento deste sensor para a medição de distância, é baseado na velocidade do som ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Sensor de ultrassom para medição de distância



Fonte: Kelemen et al (2015).

Kelemen et al. (2015) disseram que os sensores de distância ultrassônicos são projetados para medição de distância sem contato direto e esses tipos consistem em transmissor e receptor ou transceptor que é capaz de transmitir e receber som ultrassônico como ilustrado na Figura 3. A principal ideia é medir o tempo de voo da onda de som ultrassônica do sensor ao objeto detectado. Um transmissor ultrassônico envia uma frequência de som acima de 18 kHz no ar à velocidade de 344 metros por segundo (a 20 ° C) e o receptor recebe o som refletido do objeto.

A distância entre o transmissor e o objeto pode ser calculada simplesmente considerando o tempo que a onda ultrassônica leva para viajar do transmissor e ser recebida de volta (refletida) pelo receptor. A faixa de medição é de vários metros.

2.2.3.2. SENSORES ÓPTICOS

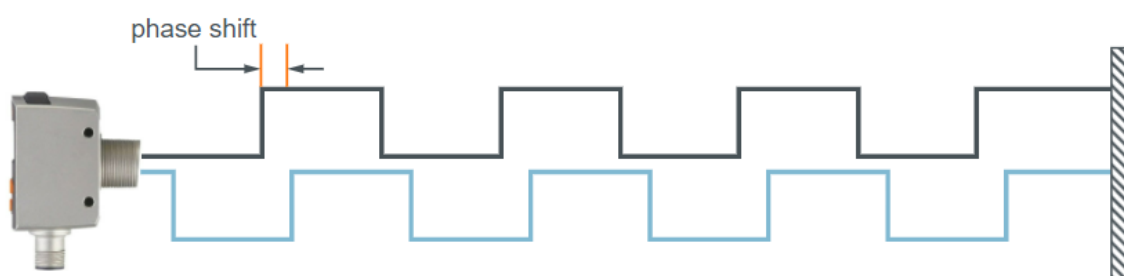
Os sensores ópticos, assim como os ultrassônicos, baseiam-se na emissão e recepção de um sinal, porém, neste caso ao invés de um sinal sonoro, este é em luz, muito utilizado para detectar substâncias e materiais.

Para usar sensores ópticos deve-se entender o espectro de radiação eletromagnética. Pois cada aplicação demanda um sensor, ou seja, a emissão de um tipo de luz. A luz vermelha é ideal para objetos de médio e grande porte como caixas e objetos não-metálicos, o laser é mais preciso, pontual, e indicado para itens de pequeno porte. Já a luz infravermelha, possui a capacidade de detectar objetos transparentes, devido a atuação do sensor em objetos como vidros e garrafas. Contudo, não são somente os tipos de luz que variam nos sensores, mas também aspectos construtivos e outras especificidades e características tornam as soluções ainda mais completas e variadas (BALLUFF, 2019).

Segundo a IFM Electronic (2021) uma empresa alemã no segmento de fabricação de sensores desde 1969, os sensores com luz vermelha visível são recomendados para detecção de materiais em um curto alcance de distância. Enquanto o sensor a laser apesar de a medição ser focalizada, pode medir com alta precisão em um longo alcance. Este tipo de sensor transmite uma onda luminosa modulada por laser, que é refletida pelo objeto a ser medido.

O ângulo de fase do sinal de luz refletido e recebido, é comparado com o ângulo de fase da luz emitida. O período da luz é determinado pela mudança de fase, ou seja, a distância entre os picos das ondas, e a partir dela é calculada a distância entre o sensor e o objeto como ilustrado na Figura 4, ou seja, as ondas de luz se propagam a partir da fonte de luz laser. Assim que a luz do objeto reflete, o padrão das fases se desloca de maneira diretamente proporcional à distância.

Figura 4 – Princípio de funcionamento do sensor a laser

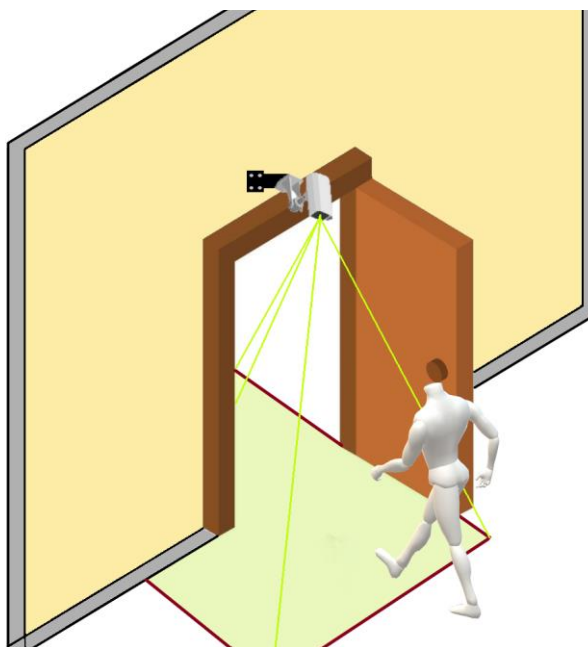


Fonte: IFM Electronic (2021)

2.3. COMPARAÇÃO DAS TECNOLOGIAS

Como já descrito anteriormente, existem diversas formas de medições físicas que poderiam ser utilizadas para resolver o problema de monitoração da lotação de pessoas no ambiente. Considerando as tecnologias apresentadas, é ilustrado na Figura 5 o método de contagem por visão computacional quando é utilizada uma câmera para tal fim seja ela térmica ou comum. Um exemplo deste tipo de método é realizado por Rossi e Bozzoli (1994) que utilizam características em tons de cinza sensíveis a mudanças de alta frequência na cena para detectar pessoas em movimento e usam *template matching* para rastrear as características extraídas.

Figura 5 – Método de contagem por câmera

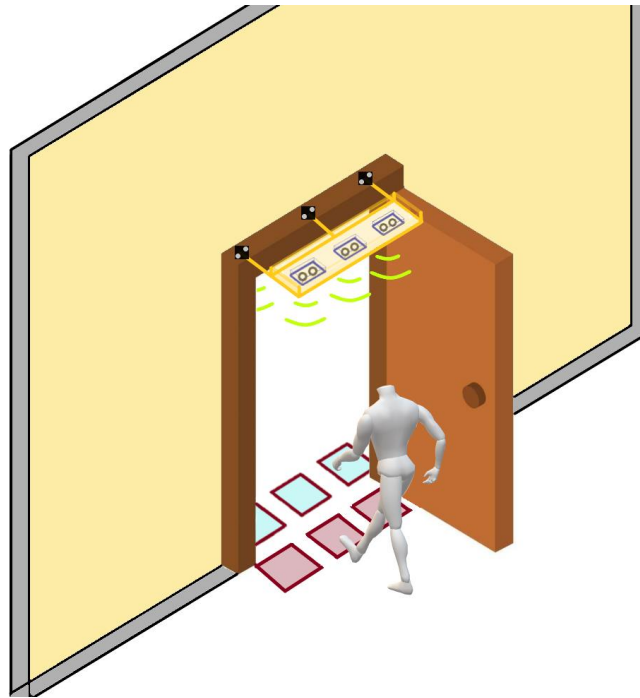


Fonte: Produção do próprio autor.

Apesar deste método com processamento de imagens ser eficaz, ele exige certo esforço computacional para processar as imagens de forma rápida, fazendo com que o projeto tenha um custo elevado com o preço da câmera e um computador dedicado.

Portanto, torna-se vantajosa a utilização de sensores para esta aplicação. Na Figura 6 é ilustrado o método de contagem com sensores ultrassônicos de distância e barreira.

Figura 6 – Método de contagem por sensor ultrassônico de distância

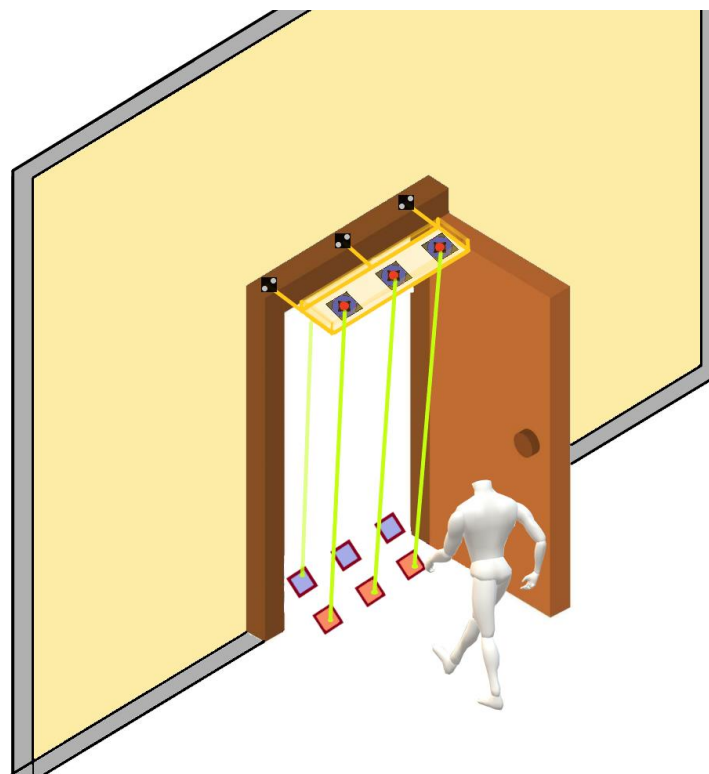


Fonte: Produção do próprio autor.

Neste método, devem ser distribuídos sensores ultrassônicos ao longo do batente superior da porta tanto externamente quanto internamente da sala. A partir disto, seriam obtidas zonas de detecção. Na figura a zona vermelha é para a detecção externa e a azul para a interna, e a partir da ordem de detecção é possível saber se uma pessoa está entrando ou saindo.

Um fator que dificulta a utilização de sensores ultrassônicos para este projeto, é o cone de propagação da onda sonora que aumenta de acordo com a distância do sensor ao objeto aumentando a taxa de ruídos se for um ambiente que muitas pessoas circulam perto da porta. Para contornar este problema, é interessante a utilização de sensores com medições focalizadas que seria o caso de sensores ópticos. Na Figura 7 é apresentado um método de contagem quando é utilizado este tipo de sensor.

Figura 7 – Método de contagem por sensores ópticos



Fonte: Produção do próprio autor.

A utilização de sensores ópticos é a melhor escolha para este projeto, por realizar medidas rápidas e precisas, sendo que a contagem é a mesma do método utilizando sensores ultrassônicos. Um ponto que pode complicar o projeto é a quantidade de sensores a serem usados aumentando a probabilidade de manutenção do sistema. Assim, é de interesse encontrar um único sensor que consiga atender os requisitos do projeto, de baixo custo e que seu princípio de funcionamento seja utilizando a luz infravermelha para não haver poluição visual.

2.4. ARQUITETURA DO SISTEMA PROPOSTO

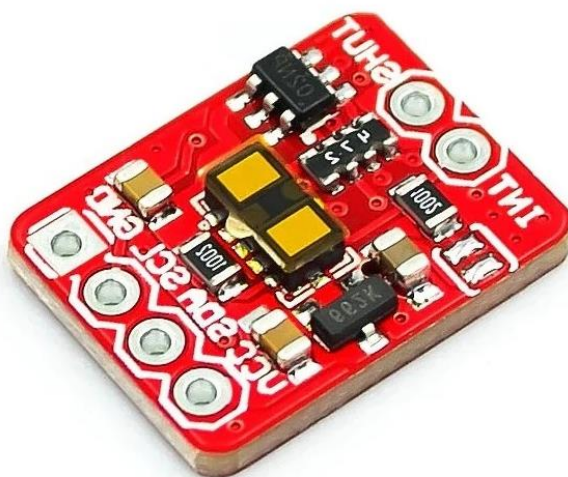
Para o desenvolvimento do projeto houve a necessidade de primeiramente realizar uma pesquisa bibliográfica em busca de opções de sensores e de microcontroladores. Tendo em vista que é fundamental um rápido processamento sobretudo quando ocorre a passagem de uma grande quantidade de pessoas consecutivas com passos rápidos, portanto o sensor e o microcontrolador escolhidos devem ser eficazes para computar todas essas pessoas.

2.4.1. SENSOR UTILIZADO

No âmbito de sensores, como já foi descrito anteriormente, existem diversos tipos. Entre as características mais importantes neste projeto destacam-se a velocidade de leitura, pois para atender os objetivos é necessário que realize as leituras de forma rápida garantindo que todo o fluxo de pessoas andando seja efetivamente computado, e uma outra característica importante é o preço, pois quando se trata de um local com muitas salas é de interesse que o projeto tenha um baixo custo.

Nesse contexto, destaca-se o sensor de distância VL53L1X desenvolvido pela STMicroelectronics. De acordo com a ADAFRUIT (2021) este sensor de distância de tempo de voo possui um alcance de até 4 metros e precisão semelhante ao Lidar (*Light Detection And Ranging*) que é um dos métodos mais utilizados para determinar a distância a um objeto com a utilização de laser pulsado. O sensor contém uma fonte de laser invisível muito pequena e um sensor correspondente. O VL53L1X ilustrado na Figura 8, pode detectar o "tempo de voo", ou quanto tempo a luz levou para retornar ao sensor, por isto sua medição ocorre tão rápido. Além disso, permite somente de, cerca de, 80 milissegundos entre medições.

Figura 8 – Sensor VL53L1X



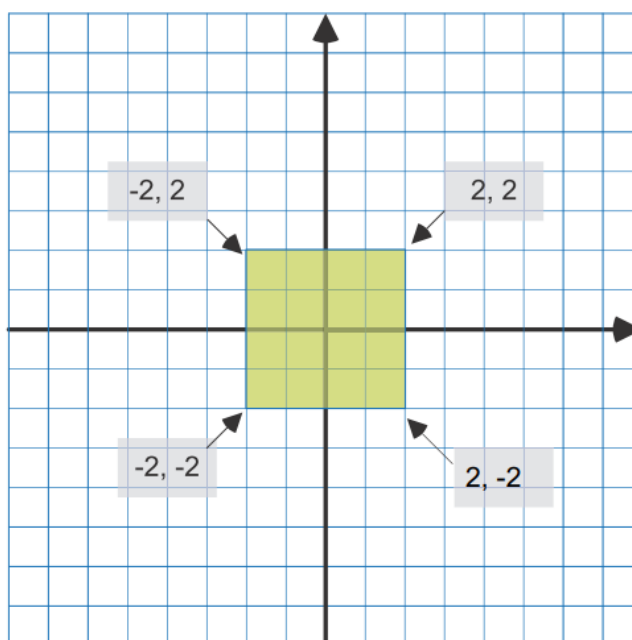
Fonte: Future Electronics (2022)

Diferente dos sonares que refletem ondas ultrassônicas, o 'cone' de detecção é muito estreito, tornando-se bom para determinar a distância apenas da superfície diretamente à sua frente. Ao contrário dos sensores de distância infravermelho que tentam medir a quantidade de luz

refletida, o VL53L1X é muito mais preciso e não tem problemas de linearidade ou “imagem dupla” onde não se pode dizer se um objeto está muito longe ou muito próximo.

Além de ser preciso, e possuir um bom custo e benefício, sendo possível encontrá-lo no mercado por menos de R\$ 100,00, ele possui ainda possibilidade de realizar configuração de uma ou várias regiões de interesses parametrizadas por meio de matrizes e para cada região configurada, o sensor retorna uma medida de distância. Resumidamente, após ser configurada a ROI (*Region Of Interest*) o sensor irá retornar apenas a média das distâncias medidas naquela região configurada fazendo com que o tempo de voo diminua e a leitura ocorra com um feixe ainda mais estreito conforme a Figura 9. Nela é exemplificada uma ROI com tamanho 4x4, que é o tamanho mínimo.

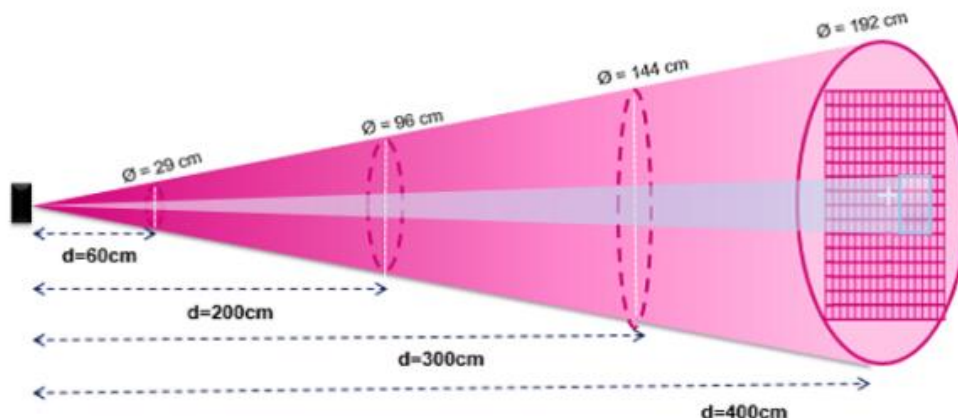
Figura 9 – Especificação de uma região de interesse dentro da matriz 16x16



Fonte: STMICROELECTRONICS (2021).

Quando não é feita esta configuração de região de interesse, é retornada a média das medidas de toda a matriz 16x16 e a largura do feixe é um cone de 27° conforme a Figura 10.

Figura 10 – Diâmetro de medição do sensor em função da distância



Fonte: STMICROELECTRONICS (2019).

O sensor VL53L1X foi o sensor escolhido para este projeto pois possui um bom custo benefício, um alcance de quatro metros que é muito maior que o necessário, uma velocidade de 50 Hz que configura velocidades de medidas muito rápidas. Além disso, por utilizar a luz infravermelha não incomoda as pessoas em um ambiente escuro como um laser de luz visível normalmente faria. Este sensor também mantém a descrição do indivíduo que foi computado, devido a interface ser I2C, ele não limita espaço para utilização de outros sensores no microcontrolador e por fim, possui possibilidade para configuração de uma ou mais regiões de interesse.

Além de ser um diferencial para os sensores de distância disponíveis no mercado, é possível medir uma área sem precisar de outros sensores como seria o caso dos sensores ilustrados nos métodos de contagem da Figura 6 e da Figura 7.

2.4.2. MICROCONTROLADOR

Para escolher o microcontrolador, primeiramente foram pesquisados microcontroladores mais populares, com grande acervo de informações na internet, e não menos importante, que houvesse um bom custo e benefício. Desta pesquisa, três microcontroladores se destacaram: ATmega328P, ESP32 e STM32.

O microcontrolador ATmega328P encontra-se na famosa placa Arduino Uno, com clock de 16 MHz, 14 pinos de I/O, sendo 6 analógicos e 6 com função PWM (do inglês, *Pulse Width*

Modulation). A placa Uno tem 32 kB de memória flash, onde são armazenados os programas e pode ser alimentada com uma fonte externa chaveada de 7 a 12 VCC.

O microcontrolador ESP32 que se encontra na placa ESP32-WROOM-32D, conta com o microprocessador Xtensa 32-Bits LX6 que apresenta baixo consumo de energia, além de se destacar pela presença de dois núcleos de CPU (do inglês, *Central Processing Unit*) e um módulo Wi-Fi (do inglês, *Wireless Fidelity*) embutido; possui pinos de ADC (do inglês, *Analog Digital Converter*), DAC (do inglês, *Digital to Analog Converter*), pinos PWM, suporte a cartão SD entre outras funcionalidades distribuídas em 30 pinos de I/O. O ESP32 possui também 520 kB de SRAM e 16 MB de flash, seu clock é de 240 MHz e sua tensão de operação de 2.2 VCC (Voltagem Corrente Contínua) a 3.6 VCC.

Já o microcontrolador STM32, é baseado no processador ARM (*Advanced RISC Machine*) Cortex-M3, encontrado na placa STM32F103C8T6 contemplando uma frequência de até 72 MHz, 64 kB de memória flash, 20 kB de SRAM, 37 pinos I/O, um regulador de tensão de 3.3 VCC. Essa placa também possui as funções *Sleep*, *Stop* e *Standby Mode*. Porém ela não possui um conversor de sinais USB-serial sendo necessário utilizar um adaptador USB ST-LINK V2 para envio do programa para a placa.

Tabela 1 – Comparação dos microcontroladores destacados

	PLACAS DE DESENVOLVIMENTO		
	Arduino UNO R3	ESP32-WROOM-32D	STM32F103C8T6
Preço	120 R\$	75 R\$	30 R\$
Microcontrolador	ATmega328	ESP32	STM32
Microprocessador	-	Xtensa 32-Bit LX6 Dual Core	ARM Cortex M3
Núcleos	1	2	1
Pinos de I/O	23	36	37
Arquitetura	8 bits	32 bits	32 bit
Frequência	16 MHz	240 MHz	72 MHz
Wi-Fi	NÃO	SIM	NÃO
RAM	2 kB	520 kB	20 kB
Memória Flash	32 kB	16 MB	64 kB

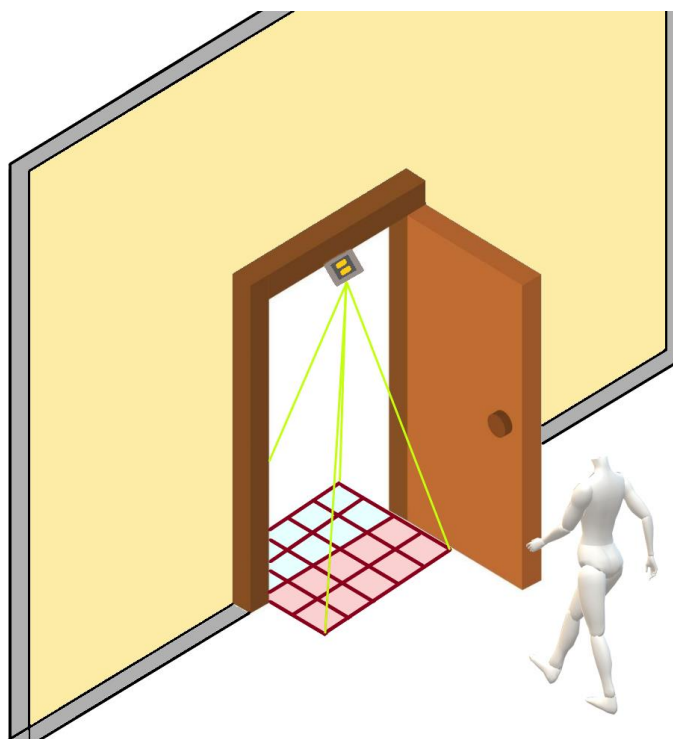
Na Tabela 1, é possível visualizar as comparações feitas entre as placas de desenvolvimento, através do site da Robocore (2022), uma empresa de São Paulo do segmento de vendas e desenvolvimento de tecnologia. As placas se mostram com ótimos custos e benefícios, sendo que o Arduino é o mais caro dos três, em segundo lugar está a ESP32 e por último o STM32. De acordo com a Tabela 1, não será interessante utilizar o Arduino devido à sua baixa frequência de operação, pois neste projeto quanto maior a velocidade, maior é a garantia de computar pessoas que andam muito rápido.

No quesito velocidade, o primeiro lugar está a placa da ESP32. Apesar de um pouco mais cara que a da STM32 ela oferece também a possibilidade de ampliação futura do projeto por possuir Wi-Fi incluso e tornar possível a conectividade com a rede *wireless*. Portanto a placa de desenvolvimento ESP32-WROOM-32D foi a placa escolhida.

3. SISTEMA DE CONTROLE DO FLUXO DE PESSOAS

Para a captura do sentido de movimento, é necessária uma medição em, pelo menos, duas zonas, na Figura 11 estas zonas são diferenciadas pelas cores, sendo a vermelha apelidada de Zona 1 e a azul como Zona 2. Quando o movimento é detectado da Zona 1 para Zona 2, obtém-se um movimento da esquerda para direita, e quando a medição ocorre da Zona 2 para Zona 1 obtém-se um movimento da direita para a esquerda, e dependendo do referencial é possível configurar cada movimento sendo uma entrada na sala ou uma saída obtendo a contagem de pessoas no local.

Figura 11 – Método de contagem pelo sensor VL53L1X



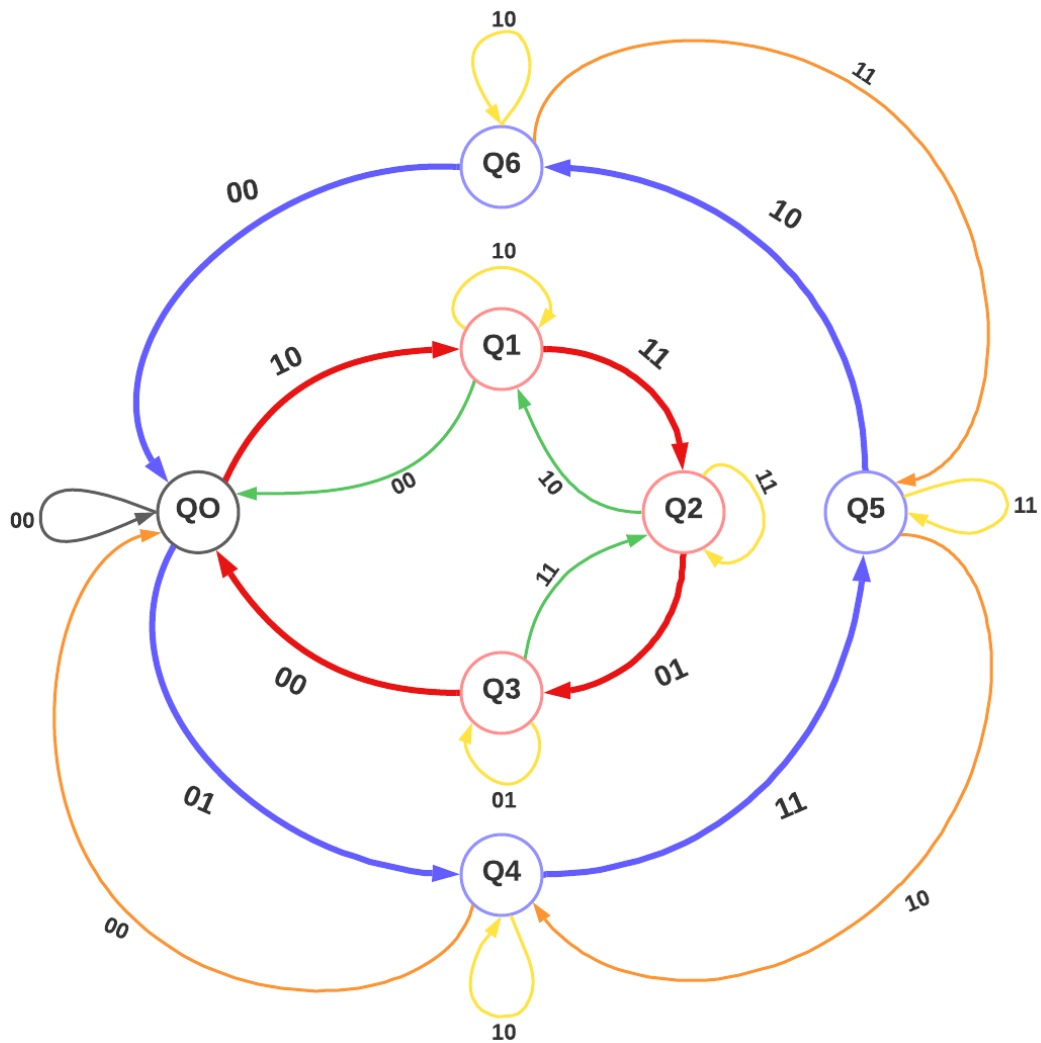
Fonte: Produção do próprio autor.

Um problema que poderia vir a ocorrer neste método, seria uma pessoa adentrar a Zona 1, seguir para a Zona 2, parar e voltar o caminho, neste caso seria contabilizado como uma pessoa a mais na sala sem que ela de fato tenha entrado.

Para resolver este problema, foi utilizado o modelo matemático conhecido como máquina de estados ilustrado na Figura 12. Esta, pode ser interpretada como uma máquina abstrata que deve conter um número finito de estados e estar em apenas um estado por vez. O estado armazena

informações sobre o passado, isto é, ele reflete as mudanças desde a entrada no início do sistema, até o momento presente. Uma transição indica uma mudança de estado e é descrita por uma condição que precisa ser realizada para que a transição ocorra.

Figura 12 – Configuração da máquina de estados para controlar lotação de ambientes



Fonte: Produção do próprio autor.

Nela, vê-se as setas internas em vermelho como sendo os estados que abrangem um movimento de um indivíduo da esquerda para a direita. Este movimento pode ser analisado de acordo com estados nas seguintes etapas:

1. Transição de Q0 para Q1:

Lê-se o estado Q0 como se não houvesse a presença de nenhuma pessoa e assim a Zona 1 estará em nível 0 e a Zona 2 em nível 0 configurando o estado Q0 como estado X00, quando uma pessoa

adentra a Zona 1 o estado passa de Q0 para Q1 pois o nível lógico correspondente das zonas agora são X10.

2. Transição de Q1 para Q2:

No movimento, após a pessoa ser constatado na Zona 1 ela passará por debaixo da porta sendo identificada na Zona 2, assim, o sensor estará capturando a pessoa nas duas zonas, logo o estado passa a ser Q2 pois as zonas agora obedecem a configuração de X11.

3. Transição de Q2 para Q3:

Quando esta pessoa sai da Zona 1 e está inteiramente na Zona 2, então o nível lógico das zonas é configurado como X01 e logo o estado é o Q3.

4. Transição de Q3 para Q4:

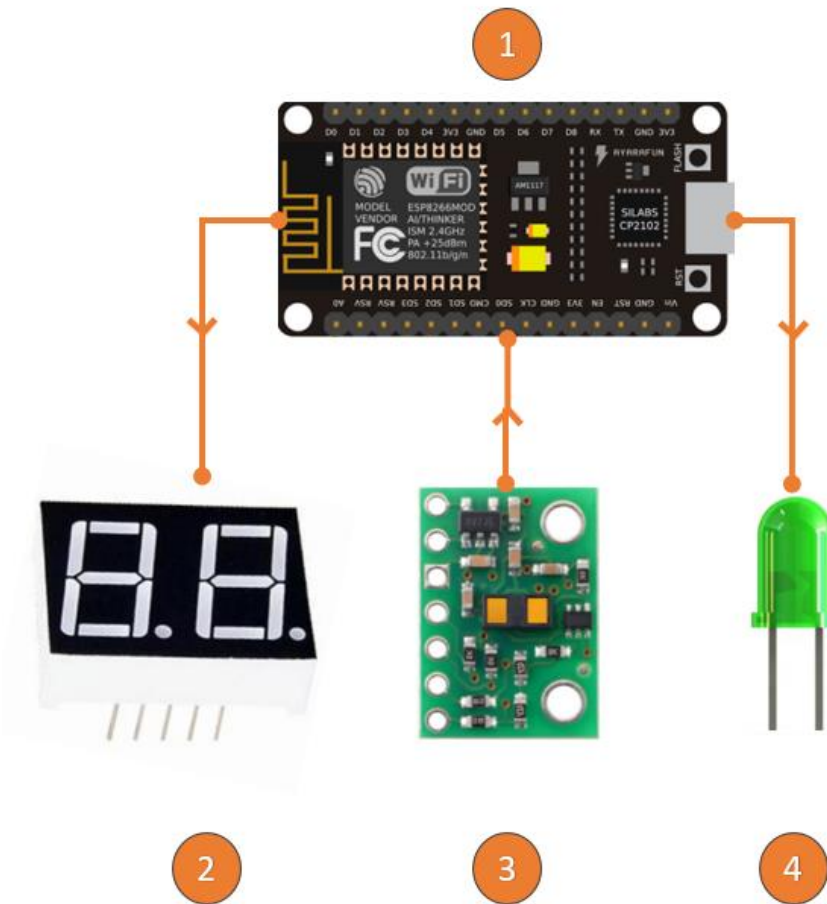
Se o próximo movimento for a pessoa saindo da Zona 2, ou seja, uma configuração X00 do estado Q0, então esta pessoa será computada como adentrou a sala pois ela completou todo o ciclo vermelho da máquina de estados. Se ela resolveu voltar o caminho, então o próximo movimento não será para Q0, mas sim para Q2 pois ela será novamente detectada na Zona 1 e estará seguindo pelo caminho verde, assim ela não será computada como mais um ingressante do ambiente.

O círculo azul segue a mesma sistemática, porém contabiliza um movimento da direita para a esquerda, ou seja, saindo do ambiente. Como a sistemática da contagem do fluxo de pessoas ocorre por medição de duas zonas, o sensor VL53L1X da ST se mostra ideal visto que nele é possível configurar zonas para realizar as leituras.

3.1. HARDWARE E SOFTWARE

A Espressif, fabricante da ESP32 disponibilizou um método de integração da sua placa microcontroladora ao Arduino IDE. Utilizando este recurso, o método apresentado na seção anterior foi desenvolvido em um código que utiliza a linguagem de programação C/C++, uma das linguagens mais versáteis, sendo muito utilizada na orientação a objetos. Na Figura 13 é possível observar a exemplificação do projeto.

Figura 13– Esquemático de montagem do hardware do projeto



Fonte: Produção do próprio autor.

Os dispositivos enumerados na Figura 13 são definidos e relacionados com as numerações dos itens a seguir:

1. Placa de desenvolvimento ESP32-WROOM-32D: recebe as leituras do sensor, realiza a contagem de indivíduos e aciona os atuadores.
2. Display de 7 segmentos de 2 dígitos: dispositivo atuador que informa às pessoas de fora a quantidade de pessoas presentes dentro do ambiente.
3. VL53L1X: sensor de distância que realiza leituras em duas zonas e envia para a ESP32 realizar o processamento.
4. Diodo emissor de luz verde: dispositivo atuador que realiza um sinal luminoso para notificar que o ambiente está lotado.

Na Figura 13, é possível observar que o sistema embarcado utiliza um display de sete segmentos de dois dígitos podendo mostrar até noventa e nove pessoas presentes dentro do local, mas o dispositivo contabiliza mais de um milhão de pessoas devido à ESP32 possuir variáveis do tipo int de 32 bits. Entretanto, para mostrar mais pessoas, deve-se realizar algumas alterações para incluir mais *displays* de sete segmentos ou até mesmo trocar o tipo de *display* caso o ambiente deva comportar muitas pessoas e seja necessário usar toda a capacidade da variável que guarda a quantidade de pessoas.

Uma outra ressalva é que o sensor VL53L1X apesar de realizar a medição em uma matriz 16x16, ele retorna apenas um valor que é a média das medidas, como explicado anteriormente. Sendo assim, para obter a medida de distância de vários pontos dessa matriz é necessário configurar uma ROI para cada ponto. Cada ROI deve ter no mínimo um tamanho de 4x4 e cada medição deve ser sequencial.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o sistema em funcionamento, foram realizados vários testes para ajuste e calibração das zonas de medição do sensor. A lógica da máquina de estados se provou muito eficiente, e o sensor se comportou como esperado. As medidas de distância obtiveram um erro por volta de dez centímetros, mas como a medida de referência do projeto é o tamanho de uma porta, ou seja, dois metros e dez centímetros, entende-se que o sensor foi preciso por ter um erro abaixo de cinco por cento. Nas Figura 14, Figura 15, Figura 16, Figura 17 e Figura 18 observa-se da construção do protótipo até o sistema embarcado implementado em operação.

Figura 14 – Teste realizado para calibração das zonas

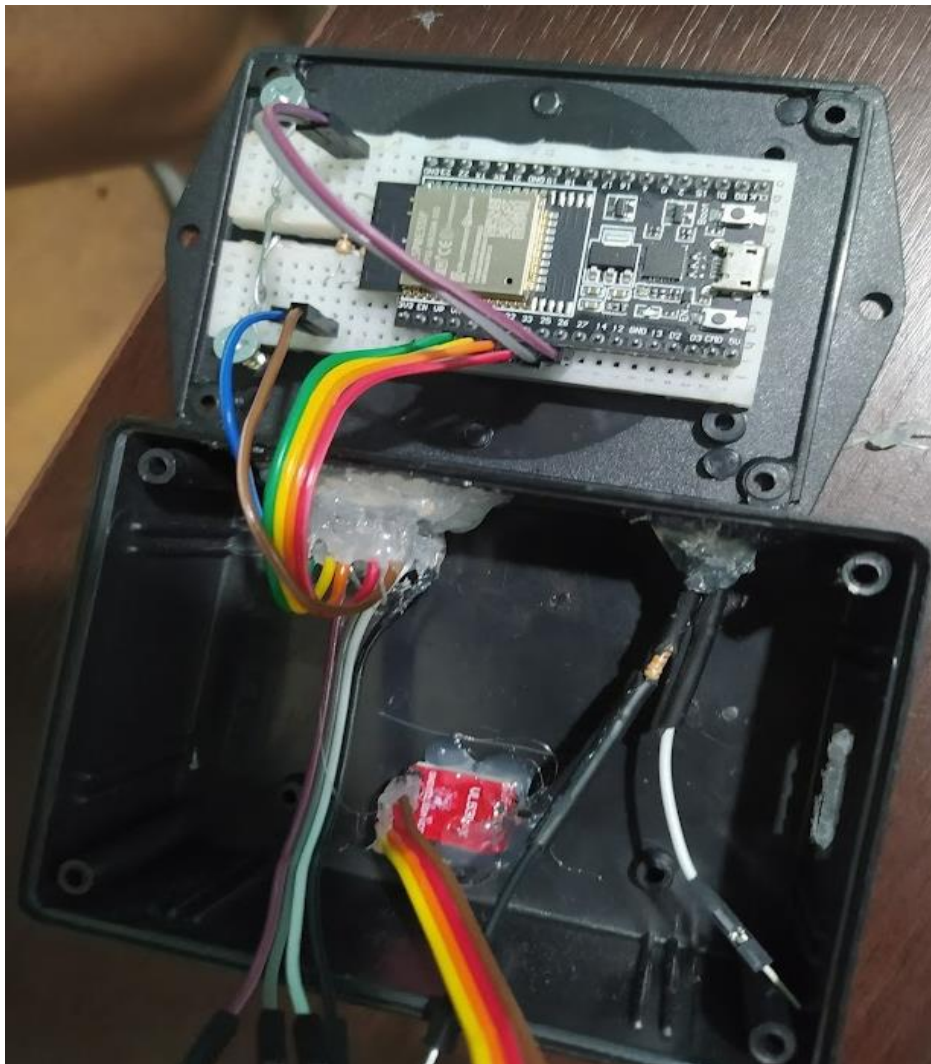


Fonte: Produção do próprio autor.

Na Figura 14 observa-se como foram realizados os testes para a verificação das zonas e a precisão de medição de distância do sensor. Através de uma medida de referência realizada com uma trena, o valor medido era conferido pelo sensor.

Com o sensor apontado para a parede, foi realizada a configuração das ROIs e com objetos atravessando elas, um movimento era contabilizado.

Figura 15 – Montagem do protótipo



Fonte: Produção do próprio autor.

Na Figura 15 é mostrado como os elementos de controle foram dispostos no *case*, para fixação do sensor, LED (*Light Emitting Diode*) e o display de 7 segmentos, foi utilizado o adesivo termoplástico.

Figura 16 – Finalização da montagem do protótipo



Fonte: Produção do próprio autor.

Após montado o protótipo, na Figura 16 é visto o sistema embarcado semifinalizado. Antes de parafusar fechar o *case*, testes de bancada foram realizados para confirmação do funcionamento do sensor, *display* e LED. Observa-se na figura que o LED está aceso, isto ocorre devido ao número máximo de pessoas ter sido configurado em trinta, ou seja, ainda há mais espaço para duas pessoas entrarem sem gerar aglomeração.

Figura 17 – Protótipo Finalizado



Fonte: Produção do próprio autor.

Na Figura 17 é possível observar o protótipo finalizado, com todos os elementos em funcionamento.

Figura 18 – Protótipo em funcionamento



Fonte: Produção do próprio autor.

O dispositivo como já descrito anteriormente foi fixado através de parafusos no batente superior da porta. Em operação, o VL53L1X se mostrou bem veloz por realizar medidas em um intervalo de 80 ms, o suficiente para computar uma pessoa que estivesse correndo há uma velocidade de 3 m/s.

No código de programação construído, o controle de lotação do ambiente foi realizado por meio da sistemática do diagrama de estados apresentado na Figura 12. As transições do diagrama como

explicado no Capítulo 3, ocorre por meio de entradas no sistema, estas entradas são extraídas das leituras do sensor em cada uma das zonas, esta obtenção de entrada é ilustrada na Figura 19 através de um algoritmo feito na pseudolinguagem Portugol.

Figura 19 - Pseudocódigo realizado para obtenção das entradas da máquina de estados

```

enquanto (verdadeiro) {
    funcao inicio() {
        faixa = 1.5; //gap de detecção [metros]

        Zona1 = medirZona1();

        se (Zona1 < faixa) {
            Zona1 = 1;
        } se nao { Zona1 = 0; }

        espera(80); // [millisegundos]

        Zona2 = medirZona2();

        se (Zona2 < faixa) {
            Zona2 = 1;
        } se nao { Zona2 = 0; }

        espera(80);

        se (Zona1 == 0 && Zona2 == 0) { entrada_maquina = X00;}
        se (Zona1 == 1 && Zona2 == 0) { entrada_maquina = X10;}
        se (Zona1 == 1 && Zona2 == 1) { entrada_maquina = X11;}
        se (Zona1 == 0 && Zona2 == 1) { entrada_maquina = X01;}
    }
}

```

Fonte: Produção do próprio autor.

Com o sistema em operação, quando não há presença de nenhuma pessoa, o sensor mede a altura da porta, em torno de dois metros. Quando uma pessoa entra em uma das zonas, a medição desta zona passa a ser menor que a altura da porta. Para este projeto, foi configurado uma faixa para pessoa ser detectada quando a distância entre ela e o sensor for menor ou igual a 1,5 metros. Ou seja, considerando dois metros a altura de referência da porta, pessoas com menos de 50 centímetros (crianças) não serão detectadas. Todavia, a configuração desta faixa pode ser configurada de acordo com a necessidade, desde que não ultrapasse a altura da porta.

O sistema embarcado, apesar de ter que comutar as leituras entre duas zonas de interesse em um intervalo de 80 ms, as medições atenderam o escopo do projeto, controlando a lotação do ambiente.

5. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Após doze horas de observação do protótipo em funcionamento, constatou-se que ele atende muito bem os objetivos para o controle de fluxo da sala. Testes de até mesmo uma pessoa passando correndo o sistema contabilizou. Os vídeos dos testes estão disponibilizados no youtube no link:

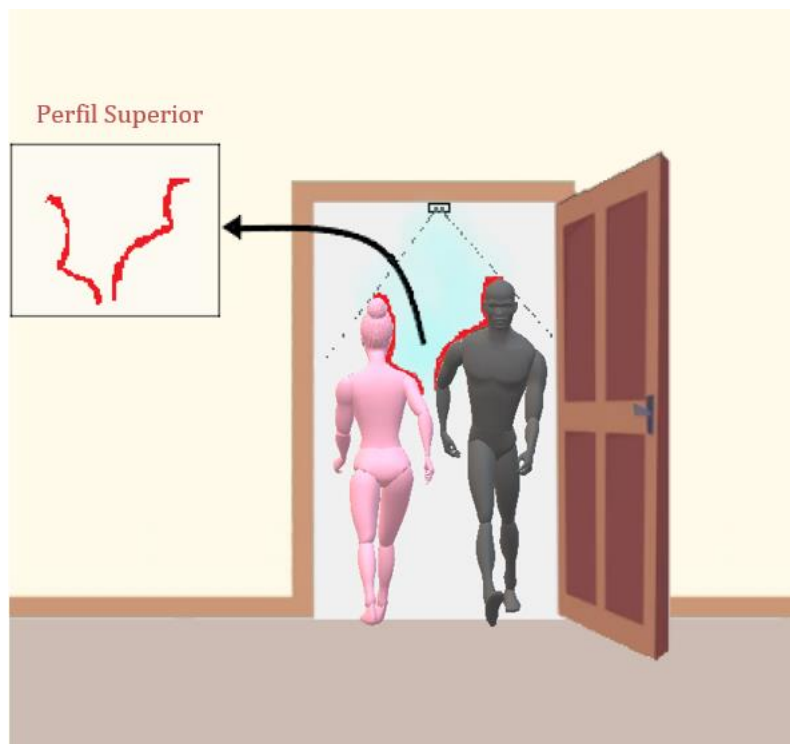
- <https://www.youtube.com/playlist?list=PLVoT019Hvpl0fQ2nfr6pLVfbiL2Onu4mi>

Na fase de calibração das zonas do sensor, o teste de contagem com pessoas muito próximas, ou seja, caminhando com aproximadamente vinte centímetros de distância uma da outra, foi realizado com êxito. Porém no decorrer da construção do protótipo, foi realizado a adição do LED e *display* e conseqüentemente um aumento nas linhas de programação, devido a isto, o dispositivo final não se comportou bem com esse teste de pessoas muito próximas e não computou algumas pessoas, este teste também pode ser verificado no link citado acima.

Uma proposta de solução é realizar a atualização da quantidade de pessoas no *display* após um certo tempo em que não houver leituras do sensor, assim o processamento do microcontrolador seria todo canalizado ao processo de contagem quando houvesse movimentação pela porta. Considerando que o protótipo foi criado com o propósito de ajudar nas medidas preventivas da Covid-19, não é recomendado, de fato, que as pessoas transitem muito próximas umas das outras para evitar o contágio.

Foi experimentado obter-se um perfil superior de todo objeto ou pessoa que atravessa a região abaixo da porta e acompanhar o movimento deste perfil, assim seria possível contabilizar as cabeças que seriam os pontos de máximos do perfil e caso houvesse uma entrada ou saída de duas pessoas simultâneas ou até mesmo uma entrada e saída simultânea seria possível computar na contagem como ilustrado na Figura 20.

Figura 20 - Obtenção de um perfil superior no momento da passagem de pessoas



Fonte: Produção do próprio autor.

Porém, para tal feito, foi necessário dividir muitas zonas e o chaveamento de medição entre elas custou muito tempo se tornando difícil de obter um perfil. Um outro empecilho foi a questão de a zona de interesse ter no, mínimo, um tamanho 4x4 que implica em uma possível medição de ombro e cabeça ao mesmo tempo, como é retornada uma média, não seria possível obter um perfil com destaque na cabeça devido à sua distância se misturar com a dos ombros, isto sem mencionar a imprecisão por volta dos 10 centímetros.

Portanto, se o sensor em uma medição retornasse as medidas de toda a matriz 16x16 de forma rápida separada, ou seja, cada zona de tamanho 1x1 e se a imprecisão fosse um pouco menor por volta dos dois por cento, pode ser que fosse possível implementar uma contagem de pessoas simultaneamente, monitorando os movimentos dos pontos com menor distância (cabeças).

Tabela 2 – Levantamento do custo do projeto

CUSTOS DO PROJETO	
	VALOR
ESP32-WROOM-32D	R\$ 75,00
Display de 7 segmentos de 2 dígitos	R\$ 5,00
LED Verde	R\$ 0,20
VL53L1X	R\$ 89,91
TOTAL	R\$ 170,11

Fonte: Produção do próprio autor.

No Tabela 2, é mostrado o orçamento do projeto com pesquisas realizadas no site de duas lojas localizadas em São Paulo, a Robocore (2022) e Saravati (2022), ambas empresas consolidadas no mercado de materiais eletrônicos. Outros dispositivos de funcionalidade similar com as mesmas características de funcionamento, atualmente são encontrados no mercado com um preço médio de R\$ 639 (seiscentos e trinta e nove reais), configurando o projeto aqui apresentado como sendo de baixo custo quando comparado a produtos similares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAFRUIT. **VL53L1X Time of Flight Distance Sensor**. 2021. Empresa de hardware de código aberto. Disponível em: <<https://www.adafruit.com/product/3967>>. Acesso em: 19 fev. 2022.

BALLUFF. **Como funcionam os sensores de distância?**, 2018. Sensores industriais. Disponível em: <<https://balluffbrasil.com.br/como-funcionam-os-sensores-de-distancia/>>. Acesso em: 08 dez. 2021.

BALLUFF. **Entenda o funcionamento dos sensores ópticos**. 2019. Tecnologias de automação industrial. Disponível em: <<https://balluffbrasil.com.br/entenda-o-funcionamento-dos-sensores-opticos/>>. Acesso em: 09 dez. 2021.

BECK, Cesar Augusto Moacyr Rutowitsch; BOFF, Murilo Manzoni; PIAIA, Thami Covatti. **Os (ab)usos da tecnologia de reconhecimento facial na segurança pública e na prestação de serviços a partir da pandemia de Covid-19**. Revista Pensamento Jurídico- São Paulo- vol.15, nº2, maio/ago. 2021.

BOYLE, R., HLAVAC, V., SONKA, M. *Image Processing, Analysis, and Machine Vision*: Thomson Leaning, 2008.

FUTURE ELECTRONICS. **VL53L1X Time of Flight Sensor**, c2022. Empresa fornecedora de componentes e módulos eletrônicos. Disponível em: <<https://store.future-electronics.com/products/vl53l1x-time-of-flight-sensor-precision-long-distance-measurements>> Acesso em: 03 mar. 2022.

HUANG, D., and TOMMY WS Chow. "A people-counting system using a hybrid RBF neural network." *Neural Processing Letters* 18.2 (2003): 97-113

IFM ELECTRONIC LTDA. **Tecnologia de sensores ópticos**. c2021. Introdução aos Sensores ópticos. Disponível em: <<https://www.ifm.com/pt/pt/shared/technologien/magic-cube/technology/sensores-opticos>>. Acesso em: 09 dez. 2021.

INSTITUTO NEWTON C. BRAGA. **Sensores ultrassônicos (MEC081)**, c2021. Artigo sobre funcionamento dos sensores ultrassônicos. Disponível em: <<https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/robotica/3484-mec081>>. Acesso em: 25 out. 2021.

KELEMEN, Michal et al. Distance measurement via using of ultrasonic sensor. **Journal of Automation and Control**, v. 3, n. 3, p. 71-74, 2015.

LIMA, Kássio MG et al. Sensores ópticos com detecção no infravermelho próximo e médio. **Química Nova**, v. 32, n. 6, p. 1635-1643, 2009.

LORENZINI, Jarbas Macedo. **O aspecto da inovação na engenharia como instrumento de desenvolvimento social**. Tese (Mestrado Educação Científica e Tecnológica), Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina: Florianópolis, p.98, 2008.

Portal do Governo. **Coronavírus: Entenda a importância de evitar aglomerações**, 2021. Informe sobre coronavirus. Disponível em: <<https://www.saopaulo.sp.gov.br/ultimas-noticias/coronavirus-entenda-a-importancia-de-evitar-aglomeracoes/>>. Acesso em: 27 mar. 2022.

ROBOCORE TECNOLOGIA. **Placas de Desenvolvimento**, c2022. Loja virtual de dispositivos eletrônicos. Disponível em: <<https://www.robocore.net/placas-desenvolvimento>>. Acesso em: 19 fev. 2022.

ROSSI, M., and A. BOZZOLI. "**Tracking and counting moving people**". *Proceedings of 1st International Conference on Image Processing*. Vol. 3. IEEE, 1994.

SARAVATI. **Materiais elétricos**, c2022. Comércio de materiais técnicos. Disponível em: <<https://www.saravati.com.br/>>. Acesso em: 07 mar. 2022.

STMICROELECTRONICS. **UM2555: implementação de várias zonas de driver ultra lite VL53L1X**. Suíça, 2019. Disponível em: <https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user_manual/group1/fc/c3/0b/8c/0c/da/4c/8d/DM00600212/files/DM00600212.pdf/jcr:content/translations/en.DM00600212.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2022.

STMICROELECTRONICS. **Datasheet: A new generation, long distance ranging Time-of-Flight sensor based on ST's FlightSense™ technology**. 4. ed. rev. Suíça, 2021. Disponível em: <<https://www.st.com/resource/en/datasheet/vl53l1x.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2022.

TEXAS INSTRUMENTS. **AFEs de sensores ultrassônicos**. Disponível em: <https://www.ti.com/sensors/specialty-sensors/ultrasonic/overview.html?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=asc-sens-null-58700005864694637_ultrasonic_all-cpc-pp-google-wwe&utm_content=Ultrasonic_all&ds_k=ultrasonic+sensor&DCM=yes&gclid=Cj0KCQjwz7uRBhDRARIsAFqjull8kbTMm8slaaw1RjSw9UswwfM7bIKmVlvWXE7zazcwjw_LkGR1h4kaApcIEALw_wcB&gclid=aw.ds>. Acesso em: 14 mar. 2022.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de. **Sensores industriais: Fundamentos e aplicações**. 9 ed. São Paulo: Érica, 2020.

VELIPASALAR, Senem; TIAN, Ying-Li; HAMPAPUR, Arun. Automatic counting of interacting people by using a single uncalibrated camera. In: **2006 IEEE international conference on multimedia and expo**. IEEE, 2006. p. 1265-1268.

XUE, J., ZHENG, N. **Statistical Learning and Pattern Analysis for Image and Video Processing**. Springer-Verlag, New York, 2009.