

HomeLab: Levando o Laboratório até a Residência do Aluno

Title: HomeLab: Taking the laboratory to the student's residence

Felipe Valencia de Almeida
Universidade de São Paulo
ORCID: 0000-0003-2031-6443
felipe.valencia.almeida@usp.br

Victor Takashi Hayashi
Universidade de São Paulo
ORCID: 0000-0001-6672-4296
victor.hayashi@usp.br

Alexandre Marques Carrer
Universidade de São Paulo
ORCID: 0000-0003-3584-6877
alexandre.marques@usp.br

Reginaldo Arakaki
Universidade de São Paulo
ORCID: 0000-0003-4718-3425
reg@usp.br

Resumo

O período de pandemia da COVID-19 caracterizado pela adoção das práticas de distanciamento social trouxe consigo desafios e oportunidades de inovação nas práticas de ensino. No caso das disciplinas que utilizavam um aparato experimental de laboratório, observou-se uma demanda crescente por recursos de simulação, emulação e os chamados laboratórios remotos. Por mais que os laboratórios remotos sejam vistos como um poderoso recurso para mitigar as perdas de ensino-aprendizagem de um laboratório físico, seu uso de forma isolada não é o ideal, pois o aluno não possui um contato direto com os componentes utilizados. Neste sentido, aqui é proposto o conceito de "HomeLab", que consiste na integração entre o laboratório remoto e a própria residência do aluno utilizando o protocolo MQTT, permitindo com que o aluno interaja diretamente com o laboratório remoto por meio de dispositivos de Internet das Coisas instalados em sua residência. Um estudo de caso é apresentado no contexto de uma disciplina de laboratório de eletrônica digital, onde os alunos realizaram projetos explorando este recurso. Além do protocolo MQTT, foram utilizadas tecnologias de Internet das Coisas e o aprendizado baseado em projetos. Cinco projetos foram desenvolvidos com sucesso e permitiram aos alunos desenvolver habilidades técnicas de prototipagem e integração com sensores e atuadores embarcados.

Palavras-chave: Laboratório remoto, Eletrônica digital, Internet das coisas.

Abstract

The COVID-19 pandemic period characterized by the adoption of social distancing practices brought with it challenges and opportunities for innovation in teaching practices. In the case of disciplines that used an experimental laboratory apparatus, there was a growing demand for simulation, emulation, and so-called remote laboratories resources. Although remote laboratories are seen as a powerful resource to mitigate the teaching-learning losses of a physical laboratory, their isolated use is not ideal, as the student does not have direct contact with the components used. In this sense, the concept of "HomeLab" is proposed here, which consists of the integration between the remote lab and the student's own residence, allowing the student to interact directly with the laboratory by controlling physical devices installed in his/her residence. A case study is presented in the context of a digital electronics laboratory course, where students developed projects exploring this resource.

Keywords: Remote lab, Digital electronics, Internet of things.

1 Introdução

A mudança abrupta do ensino presencial para o ensino remoto durante a pandemia de COVID-19 trouxe diversos desafios para as disciplinas práticas. Criar oportunidades de aprendizado que tornem possível a formação de competências dos alunos em um cenário de ensino totalmente remoto que sejam comparáveis com o ensino presencial não é trivial (Larriba et al., 2021). Um dos grandes desafios para o ensino remoto prático é promover o aprendizado ativo dos alunos (Qiang, Obando, Chen, & Ye, 2020).

O ensino de Engenharia inclui aspectos de instrumentação, experimentação, análise de dados, comunicação, trabalho em equipe e aprendizado a partir de erros cometidos (Balamuralithara & Woods, 2009). Segundo Kolb (2014), o aprendizado ocorre a partir da combinação da teoria com a prática em quatro etapas que formam o ciclo do aprendizado prático: experiência concreta, observação reflexiva sobre esta experiência, formação ou adaptação de conceitos abstratos, e formulação de novas hipóteses que podem ser validadas em novas experiências. Uma abordagem somente com uso de simulação pode não ser suficiente para cumprir com os requisitos do Ensino de Engenharia e suportar o ciclo completo de aprendizado prático, principalmente em relação à instrumentação, aprendizado a partir de erros, e efetivamente observar ou participar de uma experiência concreta.

Na disciplina de laboratório de eletrônica digital oferecida para os alunos do curso de Engenharia de Computação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, os alunos são reunidos em grupos, e têm contato com o ciclo completo de desenvolvimento de sistemas digitais, utilizando circuitos integrados reconfiguráveis denominados *Field-Programmable Gate Array* (FPGA). Neste ciclo o aluno inicia na etapa de definição e projeto, partindo a escrita de um código em uma linguagem de descrição de hardware seguido de sua compilação e carga do circuito em uma placa FPGA.

A primeira metade da disciplina tem o seu conjunto de aulas direcionadas para o desenvolvimento de uma infraestrutura base, utilizando alguns componentes pré-definidos além da placa FPGA, como o servo motor e o sensor ultrassônico de distância. Na segunda metade da disciplina os alunos devem propor um projeto, que será desenvolvido no restante das aulas, utilizando esta infraestrutura base para suportar aplicações diversas, tais como: monitoramento de saúde em ambiente doméstico, segurança patrimonial, e monitoramento de consumo de energia residencial. Para tal, os alunos podem utilizar uma miríade de recursos distintos, desde *softwares* como linguagens de programação/bibliotecas/*frameworks* até outros componentes eletrônicos.

Em um cenário de ensino presencial, os alunos tinham a oportunidade de conectar fisicamente estes componentes adquiridos na bancada do laboratório, porém isto não foi possível devido às medidas de distanciamento social adotadas. Como forma de contornar esta situação e promover um melhor processo de ensino-aprendizagem foi proposto o conceito de HomeLab, onde é possível realizar uma conexão lógica entre os componentes adquiridos pelos alunos e localizados em suas residências com o laboratório.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar a arquitetura utilizada no HomeLab integrado a um laboratório remoto, juntamente com os resultados obtidos de sua aplicação na disciplina de laboratório de eletrônica digital para alunos de Engenharia da Computação. Esta abordagem ocorreu em conjunto com a aplicação do método de aprendizado baseado em projetos (do

inglês *Project Based Learning* - PjBL) para fomentar a formação de competências relacionadas à resolução de problemas e comunicação (Carvalho et al., 2014). As evidências obtidas sobre os impactos produzidos no aprendizado devem ser aproveitadas no futuro, combinando atividades de laboratório da escola integrado com a plataforma HomeLab de maneira atrativa e motivadora para os alunos.

Este trabalho está dividido da seguinte forma. A seção 2 apresenta os trabalhos relacionados. A seção 3 descreve a fundamentação teórica necessária para o entendimento do HomeLab. A seção 4 apresenta os materiais e métodos utilizados, com ênfase na lista de componentes e na arquitetura proposta. A seção 5 descreve os resultados da aplicação do HomeLab na disciplina, por meio dos projetos desenvolvidos pelos alunos. Por fim, a seção 6 encerra este trabalho com as considerações finais e sugestões de trabalhos futuros.

2 Trabalhos Relacionados

Nesta seção, são apresentados alguns trabalhos relacionados encontrados na literatura especializada sobre laboratórios residenciais e remotos. Como a solução proposta do presente artigo combina as duas abordagens, ambas são relevantes para justificar o trabalho.

2.1 Laboratórios Residenciais

Na literatura, é possível encontrar algumas aplicações da abordagem semelhantes ao HomeLab abordado neste artigo.

Larriba et al. (2021) explora em seu trabalho a criação de experimentos de Engenharia Química para serem realizados na residência dos alunos durante a pandemia de COVID-19. Neste trabalho foram desenvolvidos quatro experimentos cujo aparato experimental foi desenvolvido em impressora 3D com baixo custo associado. O trabalho reforça o caráter colaborativo entre docentes, estudantes da pós-graduação e estudantes da graduação, porém não traz nenhum dado relacionado às percepções dos alunos sobre os experimentos.

Maqsood et al. (2021) apresenta em seu trabalho um experimento de análise de enzimas desenvolvido para os estudantes de um laboratório de bioquímica realizarem em suas residências durante a pandemia de COVID-19. Por se tratar de um trabalho inserido na área de biológicas, o enfoque deste é dado na metodologia para a concepção/realização dos experimentos e os resultados experimentais obtidos. Mesmo existindo limitações do experimento realizado na residência dos alunos quando comparado com um experimento análogo realizado no próprio laboratório antes da pandemia, os alunos apresentaram percepções positivas.

DeBoer et al. (2019) apresentou, ao contrário dos trabalhos anteriores, um projeto anterior à pandemia de COVID-19. Neste trabalho os autores aplicaram um ensaio de controle para verificar como a disponibilização de kits de laboratório para os alunos utilizarem em suas residências impacta suas notas e o aprendizado. Foram obtidos resultados positivos com a adoção dos kits.

A diferença do HomeLab para os trabalhos encontrados na literatura está na maior autonomia que o aluno possui para incorporar mudanças no aparato experimental. Enquanto nos trabalhos citados o aparato experimental fornecido para os alunos era inalterável, no HomeLab os

alunos podem adquirir novos componentes e conectá-los à infraestrutura remota.

2.2 Laboratórios Remotos

Laboratórios remotos consistem no uso da internet para que estudantes possam acessar diretamente o aparato experimental estando fisicamente distantes do espaço do laboratório, como por exemplo em suas residências (Balamuralithara & Woods, 2009). Eles diferem do ensino via simulação, pois neles é possível que o estudante interaja ativamente com um experimento real, realizando a tomada de medições por exemplo. Neste sentido, sensores e atuadores em um ambiente IoT atuam como intermediários entre o aluno e o aparato experimental. É possível por exemplo enviar um comando remoto por um dispositivo *smartphone* para que uma determinada mudança ocorra na bancada do laboratório (e.g. uma corrente elétrica seja gerada). Dentre seus benefícios, destaca-se a viabilidade de uma infraestrutura 24/7 para uso dos estudantes e a capacidade de uma formação complementar fora do espaço da sala de aula (Gomes & Bogosyan, 2009).

Estudos na literatura apontam as vantagens do uso dos laboratórios remotos no ensino superior, com destaque para uma maior colaboração e participação discente (Post, Guo, Saab, & Admiraal, 2019). Neste cenário, o HomeLab é visto como uma extensão natural dos laboratórios remotos, onde o estudante pode adquirir componentes por iniciativa própria e integrar esses componentes no aparato experimental do laboratório, resultando em uma maior flexibilidade e autonomia.

Pelo melhor conhecimento dos autores, este é um dos primeiros trabalhos a combinar os conceitos de laboratório residencial e laboratório remoto para suportar uma disciplina de laboratório de eletrônica digital.

3 Fundamentação Teórica

Para o entendimento deste trabalho é necessário definir alguns conceitos de Aprendizado Baseado em Projetos (PjBL), taxonomia de Bloom, Internet das Coisas (IoT) e do protocolo MQTT. Estes conceitos são descritos a seguir.

3.1 Aprendizado Baseado em Projetos

O método de aprendizado baseado em projetos (PjBL) consiste em engajar o aluno no processo de ensino-aprendizagem em uma abordagem de aprendizado ativo. Nele, os alunos atuam em atividades (projetos) que simulam o ambiente do mundo real, porém em menor escopo e complexidade (Krajcik & Blumenfeld, 2005). O emprego do PjBL em uma disciplina resulta tanto um aprendizado técnico na área de escopo daquela disciplina, as chamadas *hard skills*, quanto em um ganho nas habilidades colaborativas (*soft skills*), visto que os alunos necessitam trabalhar em equipe para atingir os objetivos de cada projeto.

Ao buscar na literatura por trabalhos que abordam a aplicação do PjBL no ensino superior, observa-se que estes possuem o foco em disciplinas de Engenharia, devido ao seu caráter prático e de aplicação (Kokotsaki, Menzies, & Wiggins, 2016). Porém, entende-se que existe um horizonte favorável para expandir a aplicação do PjBL, necessitando um preparo e esforço conjunto da

equipe docente e discente. Dentre alguns dos desafios para a implementação do PjBL em uma disciplina, destacam-se o suporte aos alunos no decorrer das aulas (para que estes não fiquem desamparados), o equilíbrio entre a teoria e a prática e a criação de um ambiente propício para o trabalho em equipe de forma eficiente.

No presente trabalho, o HomeLab foi utilizado na concepção de projetos por alunos em uma disciplina de laboratório de eletrônica digital, baseado no método de aprendizado baseado em projetos.

3.2 Taxonomia de Bloom revisada

A Taxonomia de Bloom foi criada como uma forma de organizar de maneira hierárquica os objetivos de aprendizagem. Sua versão original foi proposta por Bloom (1984) e é um recurso útil para facilitar a descrição de objetivos de aprendizagem de forma a facilitar a compreensão tanto por docentes quanto por alunos.

Krathwohl (2002) propõe uma versão revisada que mantém a divisão da taxonomia original em seis níveis, porém renomeia estes níveis e atribui um novo significado a eles. Os novos níveis são: Lembrar, Compreender, Aplicar, Analisar, Avaliar e Criar, sendo o primeiro de ordem inferior e o último de ordem superior. Observa-se que o nível mais baixo (Lembrar) é caracterizado apenas pela retenção do que foi transmitido pelo docente ao aluno, sem capacidade crítica nem reflexiva. O nível mais alto (Criar) é marcado por um alto domínio do aluno no assunto, no qual após adquirir um domínio técnico, a pessoa consegue aplicar, refletir e conceber novas ideias.

Neste artigo, objetivos de aprendizagem foram definidos conforme a taxonomia revisada de Bloom para descrever quais objetivos relacionados a habilidades técnicas foram atingidos com a aplicação desta abordagem.

3.3 Internet das Coisas

A Internet das Coisas (do inglês *Internet of Things* - IoT) é uma maneira de conectar o mundo físico com o mundo virtual de forma a não limitar a aquisição das informações à capacidade dos seres humanos em alimentar os sistemas de informação de forma manual (Ashton, 2009). Quando integrados a uma arquitetura tolerante a falhas, os dispositivos podem suportar uma coleta de dados com qualidade.

No contexto do HomeLab, existe a necessidade de comunicar os aparelhos instalados na residência do aluno com o laboratório remoto. Desta forma, as placas de desenvolvimento, sensores e atuadores específicos utilizados na disciplina de laboratório de eletrônica digital podem ser utilizados em conjunto com os equipamentos da residência do aluno. A medição de grandezas físicas pelo aluno em sua residência (e.g., pressionar um botão no HomeLab) pode causar uma mudança de comportamento na placa FPGA do laboratório remoto e de algum periférico (e.g., servomotor), que o aluno pode visualizar em tempo real por meio de uma *webcam*.

O uso do IoT fomenta não só a aquisição das habilidades técnicas relacionadas com o manuseio desta tecnologia emergente, mas também a resolução de problemas e comunicação, que estão entre as competências mais requisitadas dos trabalhadores da Indústria 4.0 (Amaral Aires, Moreira, & de Sá Freire, 2017), uma possível área de atuação para muitos alunos do curso de

Engenharia da Computação.

3.4 Protocolo MQTT

Message Queue Telemetry Transport (MQTT) é um protocolo de comunicação que foi desenvolvido pela IBM no final da década de 90, sendo hoje um padrão aberto OASIS. Ele é amplamente utilizado em projetos de Internet das Coisas, por ser um protocolo leve e com baixa demanda de recursos de rede.

Seu modelo é do tipo *publisher/subscriber* onde cada elemento da rede, aqui chamado de cliente MQTT, pode publicar e/ou assinar um conjunto de tópicos. Cada tópico atua como um canal de comunicação, onde as mensagens enviadas pela rede possuem como rótulo um tópico. Quando um elemento que está conectado na rede é um assinante (*subscriber*) de determinado tópico, ele recebe todas as mensagens que tenham aquele rótulo. Já no caso de um publicador (*publisher*) ele envia mensagens a rede com o rótulo correspondente ao tópico em que ele está publicando. O responsável por fazer o intermédio entre o publicador e o assinante é o broker (aqui definido como “broker MQTT” ou “MQTT broker”), que atua na rede como um roteador de mensagens.

Existem diversas soluções de brokers disponíveis para uso. Algumas são públicas, onde é possível utilizar um broker por meio de um IP público divulgado, como por exemplo o disponível pela HiveMQ¹. Este tipo de broker é recomendado apenas para testes, pois não é possível implementar nenhum mecanismo de autenticação. Outro tipo de solução são as gratuitas e de código aberto, onde é possível baixar uma aplicação de broker e configurá-la em ambiente próprio, como é o caso do Mosquitto (Light, 2017). Por fim, também existem as soluções pagas, onde uma empresa é responsável por garantir a disponibilidade e os recursos do broker.

A Figura 1 ilustra através de um exemplo a arquitetura do protocolo MQTT. Nela, dois sensores são responsáveis por publicar informações correspondentes a temperaturas nos tópicos *temperaturaA* e *temperaturaB*. O cliente MQTT A assina o tópico *temperaturaA*, ou seja, recebe as informações do sensorA enquanto o cliente MQTT B assina o tópico *temperaturaB*, recebendo as informações do sensorB. Por fim, o cliente MQTT C assina ambos os tópicos, recebendo informações de ambos os sensores.

Cabe ressaltar que o MQTT prevê que um cliente pode ao mesmo tempo assinar um conjunto de tópicos e publicar em outro conjunto de tópicos. A infraestrutura deve garantir alguns aspectos importantes para trazer conforto para os alunos em termos de uso de recursos (Hayashi et al., 2020). Em especial, os requisitos de tolerância a falhas e rastreabilidade em tempo real foram requisitos não funcionais principais da infraestrutura projetada e disponibilizada.

¹<https://www.hivemq.com/public-mqtt-broker/>

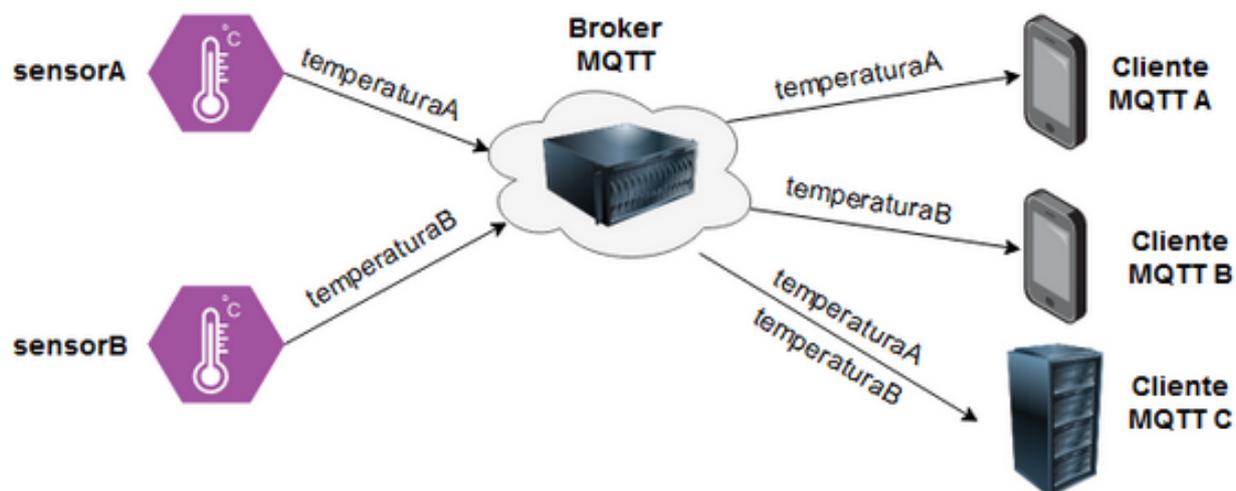


Figura 1: Arquitetura do protocolo MQTT.

4 Materiais e Métodos

4.1 Abordagem Pedagógica

Após seis experiências dirigidas na disciplina de laboratório digital que contemplaram controle de servomotor, interface com sensor de distância e comunicação serial, na segunda parte da disciplina os alunos puderam desenvolver um projeto com tema livre, considerando uma aplicação da abordagem de aprendizado baseado em projetos.

As diretrizes dos projetos foram:

1. Os projetos deverão usar todos os componentes estudados nas experiências da primeira parte (servomotor, sensor de distância e comunicação serial).
2. Substituições de componentes poderão ser feitas com a aprovação do professor de sua turma.
3. A infraestrutura disponível no laboratório remoto deve ser usada pelo grupo.
4. Componentes adicionais poderão ser usados para compor o sistema do projeto (como o HomeLab, interface Processing, recursos do MQTT Dash, aplicações web Javascript, notebooks Python).

O uso de recursos adicionais no projeto como o HomeLab foi motivado a partir da especificação de três níveis de notas possíveis para os projetos:

- **Nota do projeto entre 0,0 até 7,0:** utilizou todos os componentes estudados nas experiências da primeira parte (servomotor, sensor de distância e comunicação serial);
- **Nota do projeto entre 0,0 até 9,0:** utilizou todos os componentes estudados nas experiências da primeira parte (servomotor, sensor de distância e comunicação serial) e utilizou recursos para monitoração e visualização de dados (e.g., *dashboard*);

- **Nota do projeto entre 0,0 até 10,0:** utilizou todos os componentes estudados nas experiências da primeira parte (servomotor, sensor de distância e comunicação serial) e utilizou recursos para monitoração e visualização de dados (e.g., *dashboard*), e também integração entre laboratório remoto e residência, ou então comunicação entre dois ou mais celulares com o laboratório remoto em tempo real.

Com os três níveis possíveis de notas, a ideia foi deixar claro aos alunos que somente com a utilização de mais recursos, como *dashboard*, interfaces em celulares, e laboratório residencial HomeLab, é que as notas finais dos projetos poderiam chegar até 10,0, que seria o conceito máximo. Por exemplo, se um grupo de alunos apenas utilizar a infraestrutura básica da primeira parte da disciplina, então a nota final máxima que este projeto pode receber é 7,0.

Adicionalmente, algumas recomendações adicionais foram apresentadas aos alunos:

1. Os documentos, métodos e testes utilizados nas aulas devem servir de referências;
2. Será bem-vinda a adoção de uma plataforma como Github para o trabalho colaborativo a distância os artefatos de projetos. Essa ferramenta institui uma poderosa disciplina de gestão de configuração;
3. Organizar as 4 aulas de projetos como *sprints* com divisões claras de atividades e entregas. Os professores podem identificar tanto o planejamento como também os riscos de atrasos, em função dos níveis das evidências, tanto dos artefatos práticos como do planejamento, servindo de avaliação aula-a-aula;
4. Considerar como parte dos times de projetos os professores, técnicos e auxiliares de ensino do laboratório para compartilhar as dificuldades, compartilhar os avanços e aproveitar as ferramentas disponíveis.

O desenvolvimento dos projetos foi realizado em 5 aulas, conforme descrito a seguir:

- **Aula 1:** Requisitos Funcionais e Não-Funcionais do Projeto e Jornada de Usuário;
- **Aula 2:** Refinamento da Jornada de Usuário, Simulações e Testes da Infraestrutura Base do Projeto (desenvolvido na parte 1 do curso);
- **Aula 3:** Implementação técnica parcial da Monitoração e/ou do HomeLab;
- **Aula 4:** Implementação técnica final da Monitoração e/ou do HomeLab;
- **Aula 5:** Entrega final da Especificação Completa do Projeto, Simulações Realizadas, Códigos e Vídeo de Demonstração.

No começo de cada aula, cada grupo de alunos realiza uma apresentação curta em formato de *pitch* de duração de 3 minutos. Esta atividade auxiliou na apresentação final da aula 5.

Antes da apresentação final, os alunos participaram de uma avaliação de pares com a seguinte rubrica de avaliação (cada item possui um máximo de 100 pontos, e a nota final é a média aritmética simples dos 5 critérios avaliados). O objetivo da atividade foi deixar claro para os alunos como eles iriam ser avaliados.

- **Critério: Apresentação**

- **0 pontos:** Comunicação confusa (sequência de ideias inadequada ou incompleta);
- **60 pontos:** Comunicação clara (sequência de ideias adequada e completo), mas não respeitou o tempo;
- **80 pontos:** Comunicação clara, respeitou o tempo (sequência de ideias adequada e completo), mas não houve participação de todos do grupo;
- **100 pontos:** Comunicação clara (sequência de ideias adequada e completo), respeitou o tempo, houve participação de todos do grupo.

- **Critério: Parte Técnica**

- **0 pontos:** Não especificou requisitos nem solução;
- **60 pontos:** Especificou requisitos mas não especificou a solução;
- **80 pontos:** Especificou requisitos, porém a solução técnica é inapropriada (não cumpre todos os requisitos especificados);
- **100 pontos:** Especificou requisitos e a solução técnica é apropriada (cumpre todos os requisitos especificados).

- **Critério: Parte Prática**

- **0 pontos:** Nada funciona;
- **60 pontos:** Somente dois itens funcionam (comunicação, servomotor e sensor de distância);
- **80 pontos:** Os três itens funcionam com interação somente por computador (comunicação, servomotor e sensor de distância);
- **100 pontos:** Os três itens funcionam com interação por computador e celular (comunicação, servomotor e sensor de distância).

- **Critério: Demonstração**

- **0 pontos:** Nenhum dos cinco itens seguintes: integração com HomeLab, comunicação entre dois celulares, *dashboard*, persistência de dados de eventos, notebook Python;
- **60 pontos:** dois dos cinco itens seguintes: integração com HomeLab, comunicação entre dois celulares, *dashboard*, persistência de dados de eventos, notebook Python;
- **80 pontos:** três dos cinco itens seguintes: integração com HomeLab, comunicação entre dois celulares, *dashboard*, persistência de dados de eventos, notebook Python;
- **100 pontos:** pelo menos quatro dos cinco itens seguintes: integração com HomeLab, comunicação entre dois celulares, *dashboard*, persistência de dados de eventos, notebook Python.

- **Critério: Potencial Produto Resultante do Projeto**

- **0 pontos:** Não apresentou potencial do produto resultante do projeto;

- **60 pontos:** A proposta possui diferencial em relação ao que existe no mercado mas o protótipo não é funcional;
- **80 pontos:** A proposta não possui diferencial em relação ao que existe no mercado mas o protótipo é funcional;
- **100 pontos:** A proposta possui diferencial em relação ao que existe no mercado e o protótipo é funcional;

4.2 Ferramentas

A Tabela 1 apresenta uma lista base de componentes que os alunos poderiam adquirir juntamente com um preço estimado obtido no momento em que a pesquisa foi realizada. Utilizou-se o termo “Kit HomeLab” com os alunos. Eventuais outros componentes também poderiam ser adquiridos, a depender do escopo do projeto a ser desenvolvido pelo grupo.

Tabela 1: Lista base de componentes do HomeLab.

Item	Orçamento
ESP8266 Wemos D1 R2	R\$27,90
Cabo micro USB	R\$24,50
Micro Servo SG90	R\$17,90
Sensor HC-SR04	R\$9,90
Fios Jumper Macho-Femea	R\$6,00
Protoboard	R\$22,60
Fios Jumper Macho-Macho	R\$6,99
Resistores 470Ω	R\$2,00

A arquitetura proposta para o HomeLab é apresentada na Figura 2. Algumas considerações são necessárias. O componente principal utilizado para viabilizar a arquitetura do HomeLab é o microcontrolador ESP8266 em uma placa Wemos, pelo fato deste ter um módulo wi-fi embutido além de seu baixo custo. Ele é utilizado tanto na residência do aluno quanto na bancada do laboratório, tendo assim um cliente MQTT nos dois extremos da arquitetura. As setas conectando o ESP8266 ao broker MQTT são uma simplificação em alto nível, indicando que cada cliente pode assinar/publicar um número variável de tópicos, a depender da necessidade do projeto dos alunos. Além disso, o uso de componentes adicionais conectados ao ESP8266 localizado na residência do aluno também pode ser explorado.

Adicionalmente, considerando a rastreabilidade e os cuidados com a disponibilidade, foi adicionado nesta integração recursos de persistência de uma base de dados orientada a documentos (*MongoDB*) de forma a subsidiar, além da monitoração para controle da infraestrutura, os registros de eventos que certamente servirão de estudos técnicos e de aprendizados dos alunos baseado na evidência dos dados.

É importante destacar que nesta arquitetura não há problema de uso concorrente do mesmo kit HomeLab pois cada aluno interessado adquiriu seu próprio kit, porém há uma possível concorrência no uso de recursos do laboratório remoto. Para resolver esta questão, as equipes de alunos tiveram à sua disposição horários específicos de OpenLab, em que um técnico responsável pelo

laboratório remoto controlava o uso da infraestrutura conforme as reservas oficiais realizadas por email.

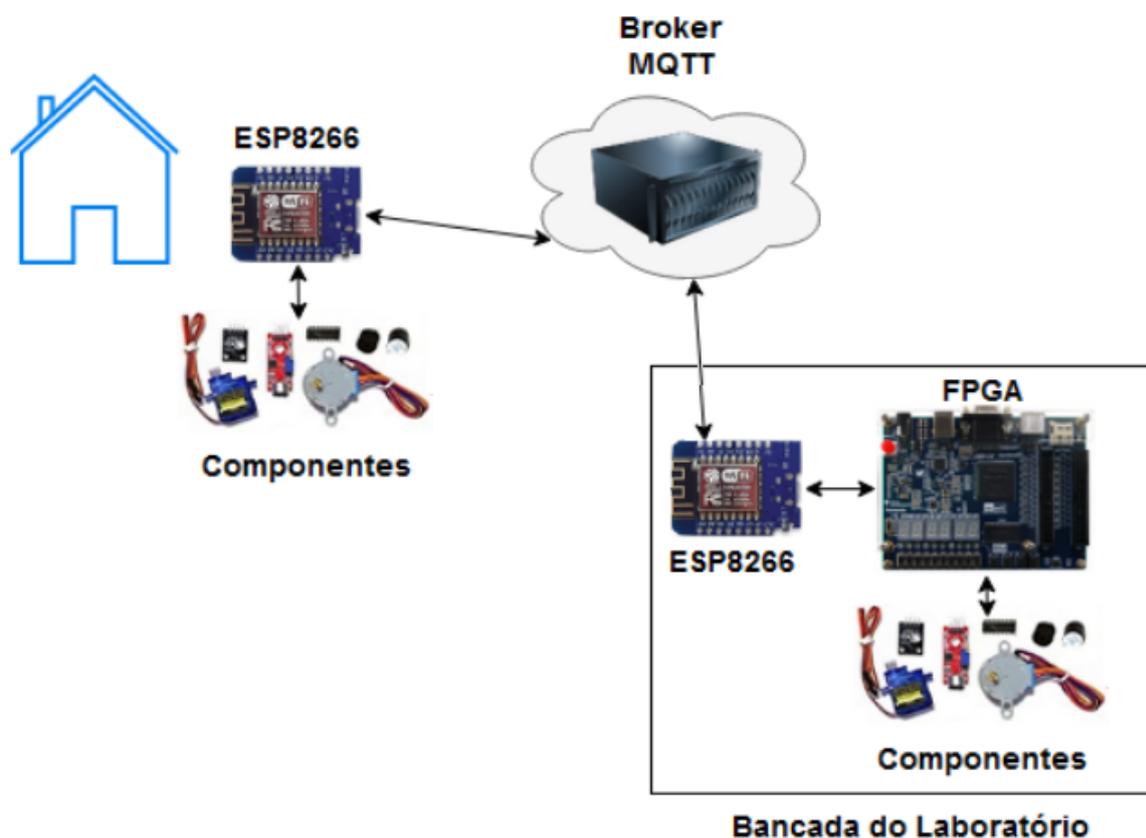


Figura 2: Arquitetura Proposta para o HomeLab integrado com o Laboratório Remoto.

Os projetos implementados foram além da arquitetura base proposta pela equipe, ao inserir a funcionalidade de persistência e tratamento dos dados gerados pelo uso do protocolo MQTT, seja para a geração de *logs* durante o funcionamento, ou para habilitar funcionalidades inteligentes que complementam os requisitos do projeto. Um exemplo geral desta expansão é ilustrado pela Figura 3. Essa elaboração extra nos projetos se deu principalmente pela adição de interfaces que trabalham publicando e se inscrevendo nos tópicos relevantes para tal aplicação (Ex.: Notebook Python, Aplicativos multi-plataforma).

A montagem física dos projetos que aderiram ao Kit HomeLab visava conectar a placa Wemos aos periféricos por meio de uma protoboard, jumpers e cabos. A Wemos é subsequentemente programada com um código do formato *.ino* para finalizar essa integração dos dados coletados pelos componentes e enviados pela placa e vice-versa.

Cabe ressaltar que por mais que exista aqui um forte aspecto do uso de componentes da eletrônica digital por conta da disciplina em que o HomeLab foi utilizado, o projeto é facilmente alterado para outros escopos, como por exemplo um contexto de eletrônica analógica. Além disso, é possível explorar o uso de outros microcontroladores além do ESP8266 para este propósito, desde que exista o suporte ao protocolo MQTT.

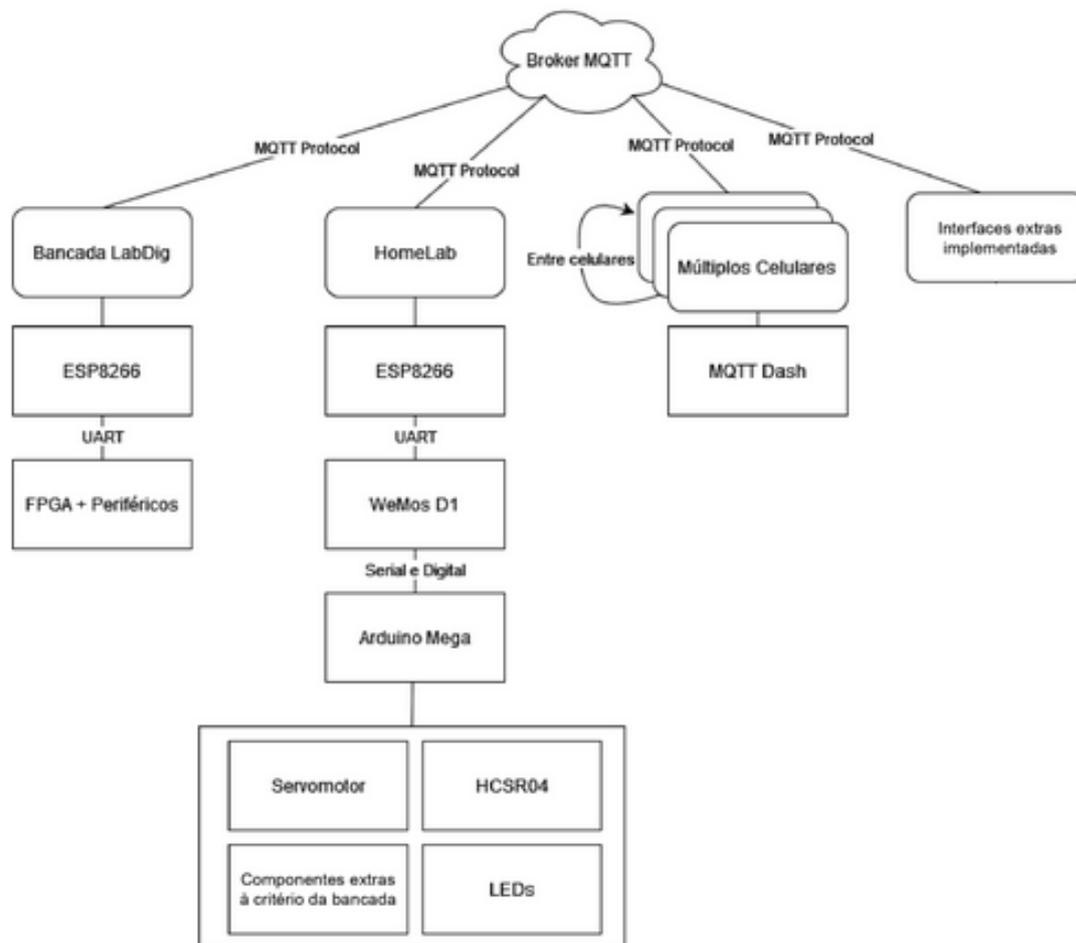


Figura 3: Arquitetura geral do HomeLab com implementação de interfaces para permissão de funcionalidades extras..

5 Resultados

A disciplina de laboratório de eletrônica digital foi oferecida no 2º semestre de 2021 para um total de 46 alunos. A equipe foi composta por quatro docentes, dois monitores da pós-graduação e 2 técnicos de laboratório. Dentre todos os projetos desenvolvidos pelos alunos na segunda metade da disciplina aqui será dado um destaque a 5 deles:

- **Pollock - Sistema de Segurança Inteligente**
- **Contador de Vagas de Estacionamento**
- **HydraPro - Bebedouro Automático**
- **Projeto QuietWatch - Sistema de Segurança**
- **Lixeira Automatizada com Leitura e Capacidade de Integração à Nuvem**

A seguir uma breve descrição sobre cada projeto é feita.

5.1 Pollock - Sistema de Segurança Inteligente

As fechaduras comuns apresentam uma série de problemas para o usuário, como esquecer se a porta foi trancada e eventualmente perder a chave e ficar trancado do lado de fora de sua residência.

O Pollock se apresentou como um sistema de segurança digital e inteligente, onde, com a lista base do Kit HomeLab, o acréscimo de um Keypad Matricial e um modelo de fechadura simples impresso em 3D, se construiu um sistema que possibilita total controle sobre a tranca, presencial ou a distância via protocolo MQTT. A Figura 4 ilustra a montagem do HomeLab.

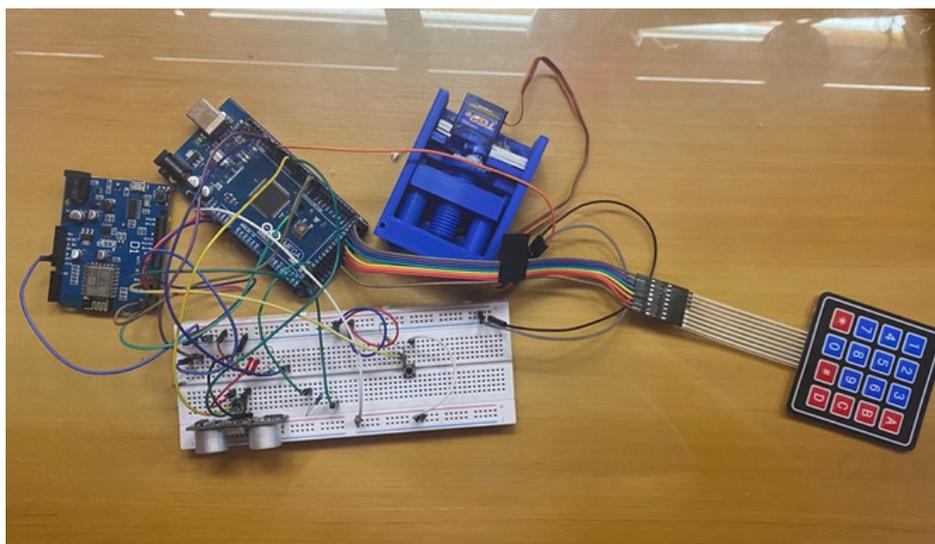


Figura 4: Setup do HomeLab com os periféricos do Projeto POLLOCK..

A associação da montagem de eletrônica digital vinculada ao Wemos com a FPGA pelos tópicos do Broker possibilitam a ativação e desativação da chave ao pressionar de um botão, ao enviar o comando pelo aplicativo do MQTT Dash ou ao inserir uma senha em um Keypad Matricial. Outros componentes como o HCSR-04 foram utilizados para complementar o fator de segurança do sistema, como o alerta de proximidade que aciona um sinal quando alguém se aproxima da tranca.

5.2 Contador de Vagas de Estacionamento

O Contador de Vagas de Estacionamento se propõe em prover a funcionalidade encontrada em estacionamentos inteligentes que mostram, não só quais vagas estão ocupadas, mas também faz uma análise de dados para melhorar o recinto de maneira inteligente, no caso implementado no projeto, faz a limitação do fluxo de carros em um estacionamento sem vagas disponíveis utilizando uma cancela movimentada pelo servomotor do Kit HomeLab.

Os componentes e o Arduino equivalente à Wemos do kit fazem a verificação da vaga pelo sensor de distância, mostrando a locação da vaga por meio de LEDs vermelhos e verdes e adicionando à contagem de vaga livre caso ela se encontre desocupada. A Figura 5 ilustra a montagem do HomeLab.

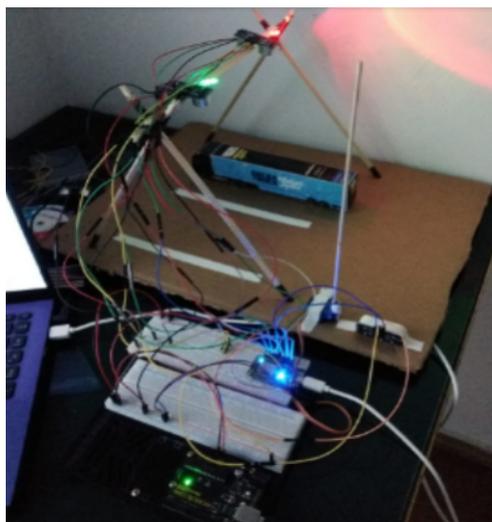


Figura 5: Setup do HomeLab com os periféricos do Projeto Contador de Vagas..

5.3 HydraPro - Bebedouro Automático

De acordo com a Organização das Nações Unidas, cada pessoa necessita de 110 litros de água por dia para atender às suas necessidades de consumo e higiene. No Brasil, o consumo diário por pessoa pode chegar a mais de 200 litros e só em 2021, foram desperdiçados 40% de água potável. Por esse motivo, surge a necessidade de produtos que promovam a redução e monitoramento do consumo de água.

O HydraPro se baseia em uma torneira de acionamento automático que gera dados de consumo. A fonte funciona por aproximação do usuário ao sensor ultrassônico, permitindo uma utilização controlada que alerta conforme a ultrapassagem do tempo de consumo estipulado pelo estabelecimento, registro de quantidade de acionamentos, registro de consumo a partir de parâmetro de vazão, além de ativação e desativação remotos via protocolo MQTT. unindo tecnologia e uso consciente de água.

Além da montagem de um protótipo físico, também se desenvolveu um aplicativo multi-plataforma com base no *framework Flutter* para ser a interface do protocolo MQTT do projeto.

A Figura 6 ilustra o protótipo do HydraPro projetado. O grupo optou por encapsular os componentes do HomeLab dentro da maquete. É possível identificar o sensor ultrassônico no canto inferior direito. O servo motor utilizado aqui é responsável por girar a válvula da torneira. Desta forma, os dados de consumo podem ser monitorados pelo usuário por meio da interface do dispositivo móvel, como quantidade de vezes de acionamento, configuração de distância e configuração de alertas e desligamento.

5.4 Projeto QuietWatch - Sistema de Segurança

O QuietWatch é um sistema de segurança para residências, um sistema que pode ser controlado e monitorado por meio do MQTT oferecendo modos de segurança dentro e fora de casa protegidos por senha. A solução é posicionada no interior da residência com visão da porta ou outro ponto

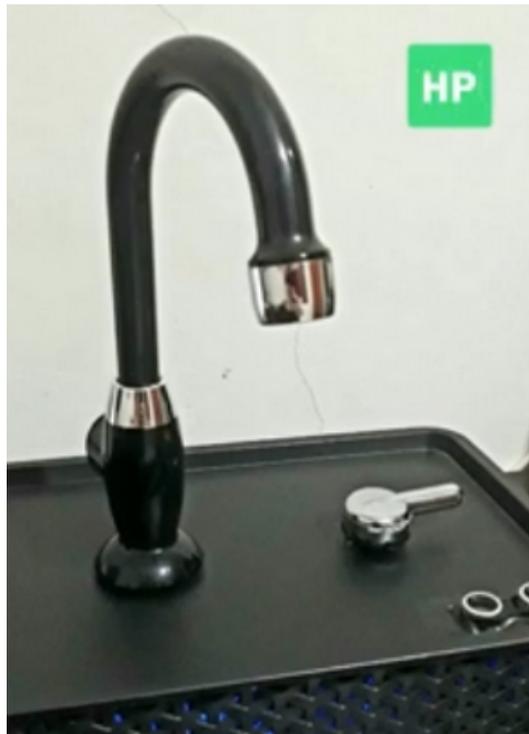


Figura 6: Setup do HomeLab com os periféricos do Projeto HydraPro..

de entrada a ser monitorado.

Após um primeiro varrimento do módulo que se assemelha a um sonar, no qual o sensor coleta distâncias para calibração, as variações posteriores na distância medida em uma determinada posição acionam uma saída de alerta de movimento.

Quando operando no modo fora de casa, ao detectar movimento o servomotor interrompe seu movimento e um alarme sonoro é disparado até que o usuário desarme o sistema por meio de uma senha. No modo em casa, alertas são registrados em um *log*, porém não resultam em alerta sonoro.

A demonstração do QuietWatch com a montagem do HomeLab e a interface de usuário desenvolvida é apresentada na Figura 7.

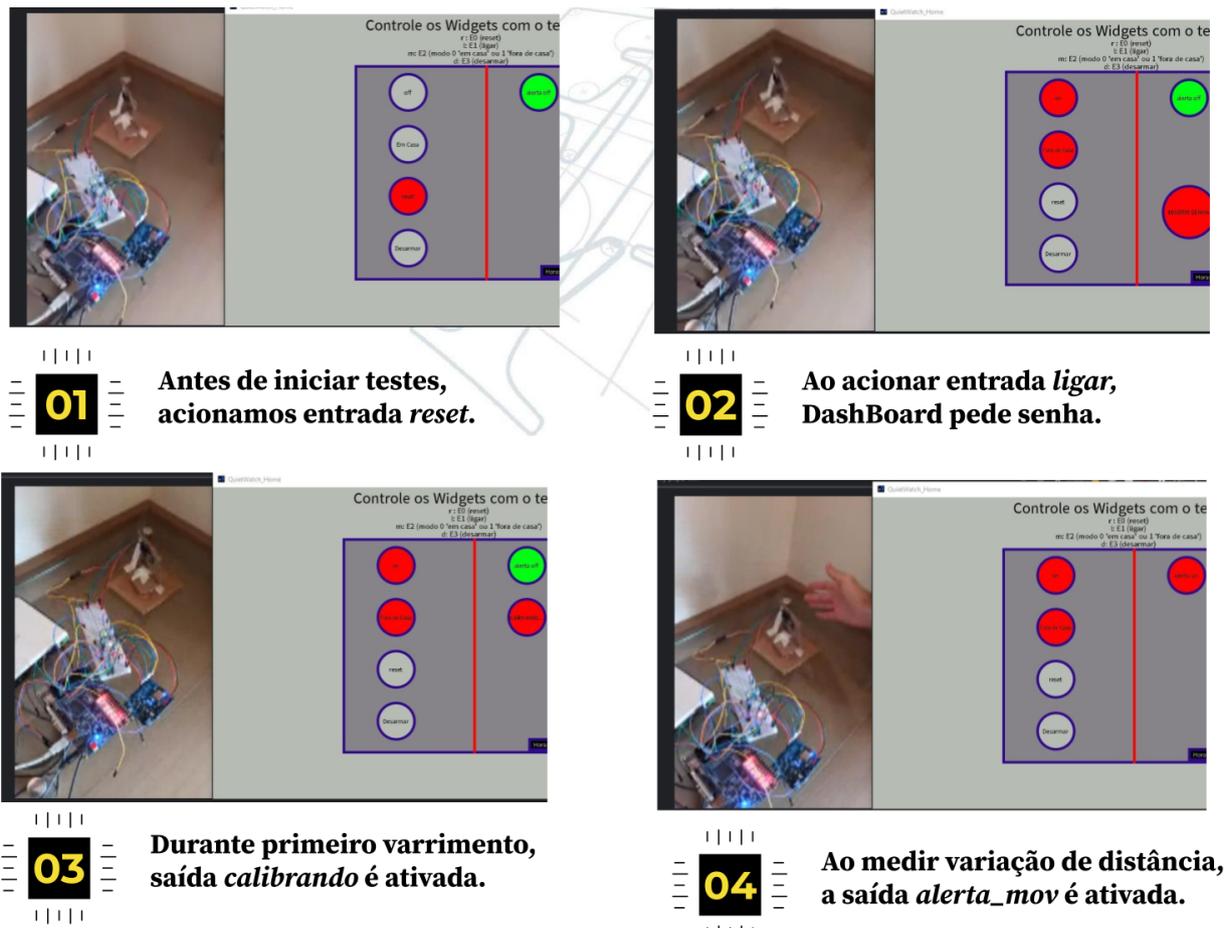


Figura 7: Funcionamento do HomeLab no Projeto QuietWatch..

5.5 Monitoramento de Lixeiras

Pensando em simplificar o trabalho de empresas de limpeza e remoção de resíduos, o grupo pensou na possibilidade de uma lixeira integrada ao universo de Internet das Coisas, com medições em tempo real da capacidade e possibilidade de operação remota, capacidades essas que trazem potencial para aumentar a eficiência de operações de limpeza e remoção de lixo, podendo ser aplicado em eventos, lixeiras urbanas, condomínios e redes de comércio. Esse monitoramento em tempo real permite saber quais lixeiras devem ser esvaziadas e também acompanhar o uso de cada uma, podendo gerar um mapeamento mais preciso de onde incluir novas lixeiras em um ambiente de acordo com a velocidade com que as que já estão implantadas são utilizadas.

Foi possível realizar a confecção do protótipo da Figura 8 para demonstrar os usos especificados. Com este protótipo, foi possível comprovar por meio dos *dashboards* que sua utilização para a gestão de lixeiras com monitoramento em tempo real é viável.

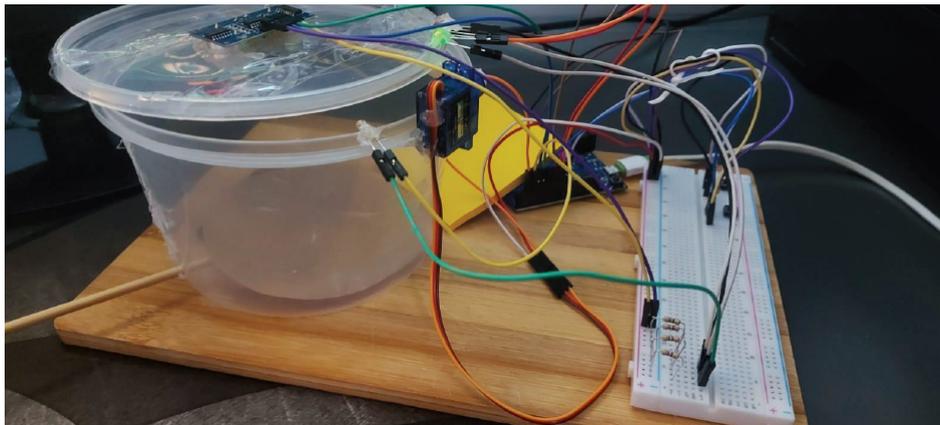


Figura 8: HomeLab do Projeto de Gestão de Lixeiras..

6 Conclusão

6.1 Contribuições para o processo de ensino-aprendizagem

Este trabalho apresentou a arquitetura utilizada no HomeLab integrado a um laboratório remoto, juntamente com os resultados obtidos de sua aplicação na disciplina de laboratório de eletrônica digital para alunos de Engenharia da Computação durante o período de pandemia do COVID-19. Destaca-se que a utilização do HomeLab não é limitada apenas ao cenário do distanciamento social, podendo ser utilizado também nos laboratórios híbridos, que possuem uma tendência de expansão no período pós-pandemia. O engajamento dos alunos durante a segunda parte da disciplina, onde as ideias de projetos, a criação, a detecção e ajustes dos erros envolvendo o esforço, as interações dos alunos, a procura proativa de apoio dos monitores e professores evidenciam o acerto do uso das técnicas de aprendizado baseado em problemas, indicadas no artigo.

Os projetos permitiram que os alunos explorassem os seguintes objetivos de aprendizagem seguindo a Taxonomia de Bloom revisada:

- Integrar soluções de hardware em placas FPGA em kits HomeLab por meio do protocolo MQTT (projetos Pollock, Contador de Vagas, HydraPro, QuietWatch, Monitoramento de Lixeiras);
- Prototipar soluções em maquetes construídas com materiais como papelão, potes plásticos e uma torneira (projetos Contador de Vagas, QuietWatch, Monitoramento de Lixeiras);
- Implementar a coleta e envio de dados de sensores do HomeLab como botões de um teclado matricial, sensor ultrassônico de distância e botões (projetos Pollock, Contador de Vagas, HydraPro, QuietWatch, Monitoramento de Lixeiras);
- Implementar a interface de controle do HomeLab com LEDs e servomotor (projetos Pollock, Contador de Vagas, HydraPro, QuietWatch, Monitoramento de Lixeiras).

Como principais resultados, cinco projetos foram desenvolvidos com sucesso e permitiram

aos alunos desenvolver habilidades técnicas de prototipagem e integração com sensores e atuadores embarcados.

6.2 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, duas frentes são vislumbradas. A primeira consiste na utilização do HomeLab em outras disciplinas, como por exemplo disciplinas relacionadas à eletrônica analógica como Laboratório de Circuitos Elétricos e Laboratório de Eletrônica. Outra possibilidade é a coleta de métricas de ensino-aprendizagem e comparação com o ensino presencial ou híbrido.

Como limitações do HomeLab, podemos citar a necessidade dos alunos adquirirem seus próprios materiais, o que pode ser inviável em determinadas instituições de ensino. Além disso, isso pode levar a um problema de acessibilidade e falta de condições justas para os diversos alunos com situações socioeconômicas diversas. Por fim, a manipulação de elementos eletrônicos fora do ambiente controlado do laboratório didático pode levar a riscos na residência do aluno. Estes desafios podem ser temas para discussão em trabalhos futuros.

Referências

- Amaral Aires, R. W., Moreira, F. K., & de Sá Freire, P. (2017). Indústria 4.0: competências requeridas aos profissionais da quarta revolução industrial. In *Anais do congresso internacional de conhecimento e inovação–Ciki* (Vol. 1). [GS Search]
- Ashton, K. (2009). That ‘internet of things’ thing. *RFID journal*, 22(7), 97–114. [GS Search]
- Balamuralithara, B., & Woods, P. C. (2009). Virtual laboratories in engineering education: The simulation lab and remote lab. *Computer Applications in Engineering Education*, 17(1), 108–118. doi: [10.1002/cae.20186](https://doi.org/10.1002/cae.20186) [GS Search]
- Bloom, B. S., Krathwohl, D. R., Masia, B. B., et al. (1984). Bloom taxonomy of educational objectives. In *Allyn and bacon*. Pearson Education London. [GS Search]
- Carvalho, D. A., Almeida, M. T., Júnior, S. B. N., Silva, S. A. d. A. S., Cyrillo, Y. M., & Gomes, F. J. (2014). A estratégia pjb1 no século xxi: utilização das ferramentas digitais. *International Journal on Alive Engineering Education*, 1(1), 75–89. [GS Search]
- DeBoer, J., Haney, C., Atiq, S. Z., Smith, C., & Cox, D. (2019). Hands-on engagement online: using a randomised control trial to estimate the impact of an at-home lab kit on student attitudes and achievement in a mooc. *European Journal of Engineering Education*, 44(1-2), 234–252. doi: [10.1080/03043797.2017.1378170](https://doi.org/10.1080/03043797.2017.1378170) [GS Search]
- Gomes, L., & Bogosyan, S. (2009). Current trends in remote laboratories. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 56(12), 4744–4756. doi: [10.1109/TIE.2009.2033293](https://doi.org/10.1109/TIE.2009.2033293) [GS Search]
- Hayashi, V., Almeida, F., Arakaki, R., Teixeira, J., Martins, D., Midorikawa, E., ... Canovas, S. (2020). Labead: Laboratório remoto para o ensino de engenharia. In *Anais dos workshops do ix congresso brasileiro de informática na educação* (pp. 187–194). Porto Alegre, RS, Brasil: SBC.
- Kokotsaki, D., Menzies, V., & Wiggins, A. (2016). Project-based learning: A review of the literature. *Improving schools*, 19(3), 267–277. doi: [10.1177/1365480216659733](https://doi.org/10.1177/1365480216659733) [GS Search]

- Krajcik, J. S., & Blumenfeld, P. C. (2005). Project-based learning. *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences*, 317–334. doi: [10.1017/CBO9780511816833.020](https://doi.org/10.1017/CBO9780511816833.020) [GS Search]
- Krathwohl, D. R. (2002). A revision of bloom's taxonomy: An overview. *Theory into practice*, 41(4), 212–218. doi: [10.1207/s15430421tip4104_2](https://doi.org/10.1207/s15430421tip4104_2) [GS Search]
- Larriba, M., Rodríguez-Llorente, D., Cañada-Barcala, A., Sanz-Santos, E., Gutiérrez-Sánchez, P., Pascual-Muñoz, G., . . . García, J. (2021). Lab at home: 3d printed and low-cost experiments for thermal engineering and separation processes in covid-19 time. *Education for chemical engineers*, 36, 24–37. doi: [10.1016/j.ece.2021.02.001](https://doi.org/10.1016/j.ece.2021.02.001) [GS Search]
- Light, R. A. (2017). Mosquitto: server and client implementation of the mqtt protocol. *Journal of Open Source Software*, 2(13). doi: [10.21105/joss.00265](https://doi.org/10.21105/joss.00265) [GS Search]
- Maqsood, S., Kilpatrick, S. M., Truong, C. D., & Lefler, S. R. (2021). Analysis of amylase in the kitchen: an at-home biochemistry experiment for the covid-19 pandemic. *Journal of Chemical Education*, 98(3), 858–865. doi: [10.1021/acs.jchemed.0c01236](https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c01236) [GS Search]
- Post, L. S., Guo, P., Saab, N., & Admiraal, W. (2019). Effects of remote labs on cognitive, behavioral, and affective learning outcomes in higher education. *Computers & Education*, 140, 103596. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103596> [GS Search]
- Qiang, Z., Obando, A. G., Chen, Y., & Ye, C. (2020). Revisiting distance learning resources for undergraduate research and lab activities during covid-19 pandemic. *Journal of Chemical Education*, 97(9), 3446–3449. doi: [10.1021/acs.jchemed.0c00609](https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00609) [GS Search]