

Oficinas de Projeto com Plataformas baratas de Hardware – um relato de experiência

Sandro Neves Soares
Campus Bento Gonçalves
Instituto Federal do Rio Grande do Sul
Bento Gonçalves, Brasil
sandro.soares@bento.ifrs.edu.br

Resumo

A experiência de alguns anos de uso do Arduíno e do Raspberry PI, plataformas acessíveis para Internet das Coisas, no ensino de conteúdos e na confecção de artefatos associados a Organização e Arquitetura de Computadores, Sistemas Operacionais e Redes de Computadores, é apresentada na forma de um estudo de caso relacionado à educação, sobretudo como uma iniciativa para o incentivo e ampliação da participação de alunos do ensino médio. A origem deste projeto foi tão somente o oferecimento de cursos introdutórios a estas duas plataformas; depois surgiu uma aplicação, um sistema de monitoramento residencial, que despertou interesses e ainda serve de bancada para experimentos por parte dos alunos; e, atualmente, são oferecidas Oficinas Makers, nas quais os alunos podem propor projetos ou engajar-se naqueles em andamento. Para participar das oficinas, o aluno deve fazer a formação Raspberry PI, uma sequência de seis minicursos introdutórios. Também são descritos, neste trabalho, os primeiros projetos concluídos pelos alunos.

1. Introdução

O trabalho aqui descrito trata-se de um projeto de extensão iniciado em 2015 no campus Bento Gonçalves do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul que, pelos desdobramentos até a presente data, é apresentado como um estudo de caso relacionado à educação, mais especificamente como uma iniciativa para o incentivo e ampliação da participação de alunos do ensino médio – mas não apenas isso, como vai se ver na sequência.

No campus há dois cursos da área de Computação: um de nível médio, o Técnico em Informática para a Internet, e um de nível superior, o Tecnologia em

Análise e Desenvolvimento de Sistemas. O objetivo inicial, quando do início do projeto em 2015, foi oferecer minicursos de Arduíno aos alunos e demais interessados do próprio campus e da região de abrangência. Isso repetiu-se em 2016. No ano de 2017, foram introduzidos os cursos de Raspberry PI. Estas duas plataformas e os conhecimentos envolvidos no seu uso, e em seus potenciais projetos, não eram contemplados, até então, nas disciplinas de ambos os cursos do campus.

O Arduíno é uma plataforma de hardware baseada em microcontrolador que pode ser programada, usando uma linguagem que é essencialmente C para controlar dispositivos eletrônicos conectados às suas interfaces de entrada e saída. Raspberry PI é um computador miniaturizado com funcionalidade e interfaces semelhantes ao do Arduíno, entretanto ele executa um sistema operacional que pode ser um Linux, o que lhe confere um potencial muito maior. Ambos foram criados com objetivo educacional e despertam muito interesse nos estudantes, uma vez que estes podem, facilmente, montar projetos de hardware e software com efetiva utilidade prática.

No início do ano de 2017, ainda durante a experimentação do Raspberry PI nos minicursos, foi montado um sistema de captura de imagens acoplado-se *webcams* ao computador miniaturizado. Este sistema é trivial e amplamente descrito em livros e na *web*. Mas o fato é que este primeiro artefato foi sendo aperfeiçoado ao ponto de, hoje, constituir uma solução efetiva de segurança residencial, com registro das imagens para posterior análise, monitoramento remoto e integração com a nuvem.

Adicionalmente, pelo fato de não ser uma solução proprietária, o sistema de captura de imagens presta-se a extensões em nível de software e de hardware e, igualmente importante, serve como alvo para testes de vulnerabilidades, duas atividades potenciais importantes para a formação e que despertam muito

interesse nos alunos. Em 2019, este potencial vem sendo aproveitado e os primeiros projetos já estão sendo testados e/ou utilizados, o que resume o atual objetivo do trabalho: prover conhecimento, recursos e espaço para que os interessados possam executar experimentos que os levem a aprender a empreender e inovar.

O texto que segue está organizado da seguinte forma: na seção II é apresentada uma descrição mais detalhada das plataformas utilizadas e, também, são apresentados alguns trabalhos correlatos. Na seção III, é descrita a solução de segurança residencial e os acréscimos, por ela proporcionados, ao ensino de conteúdos de Organização e Arquitetura de Computadores, Sistemas Operacionais e Redes de Computadores no campus. Na seção IV, é descrito o estágio atual do projeto, mais direcionado a empreendedorismo e inovação, no qual são oferecidas Oficinas *Makers* para os alunos que obtiverem a formação Raspberry PI. Também, nesta seção, são descritos os primeiros projetos já produzidos. Na seção final, são apresentadas as conclusões e trabalhos futuros.

2. Fundamentação e Trabalhos Relacionados

O Arduíno faz parte do conceito de hardware e software livre. Surgiu na Itália em 2005 e tinha, primeiramente, cunho educacional. Ele é empregado para montar computadores que possam monitorar e controlar o mundo físico para além daquilo que é possível com computadores comuns. É uma plataforma de computação física, de código aberto, baseada numa placa simples contendo um microcontrolador, e num ambiente de desenvolvimento para a programação da placa. A linguagem de programação do Arduíno é uma implementação da *Wiring*, uma plataforma similar baseada num ambiente de programação voltado ao processamento multimídia [1]. Raspberry PI é um computador do tamanho de um cartão de crédito, que se conecta a um monitor de computador ou TV, e usa um teclado e um mouse padrões. Foi desenvolvido no Reino Unido pela Fundação Raspberry PI. O principal objetivo é promover o ensino em Ciência da Computação básica em escolas, mas ele, também, permite que pessoas de todas as idades possam explorar a computação para aprender o sistema operacional Linux e a programar em linguagens como *Python*, por exemplo, pois é capaz de fazer tudo o que se espera de um computador *desktop* doméstico. Vem sendo usado por crianças de todo o mundo para aprender como funcionam os computadores, como

manipular o mundo eletrônico ao redor deles e como programar [2].

Soares e Wagner [3] já possuem experiência no uso de ambientes que se prestam tanto ao ensino quanto ao projeto e, mesmo, à pesquisa, porém sem emprego de hardware físico. No caso do trabalho atual, ele é um projeto de extensão, que não tem a intenção de ser original, mas, por outro lado, os retornos educacionais já obtidos, conforme vai se ver na sequência do texto, conferem-lhe espaço entre outros trabalhos similares publicados.

Silva e Cheiran [4] constataram que, cerca de 80% das universidades pesquisadas, utilizam microcontroladores como ferramenta de apoio ao ensino. Em Ciência da Computação e Engenharia Elétrica, os dois cursos que foram alvo da pesquisa, os microcontroladores PIC, ARM e Arduíno são os mais utilizados; entretanto este uso é feito no âmbito de uma disciplina individual e, raramente, em atividades de projeto, que ocorrem apenas em cursos de Engenharia Elétrica, ou seja, curso que não é da área de Computação. Também não é mencionado o uso do Raspberry PI, apesar da referência a processadores ARM. O trabalho descrito neste artigo, Oficinas de Projeto com Plataformas baratas de Hardware, diferencia-se daqueles que foram alvo da pesquisa nos seguintes aspectos, pelo menos: (1) é um projeto que envolve várias disciplinas: Organização e Arquitetura de Computadores, Sistemas Operacionais e Redes de Computadores; (2) possui um espaço formal para a produção de projetos, que está fora da carga horária das disciplinas dos cursos da área de Computação do campus; e (3) utiliza o Raspberry PI.

Silva et al. [5] apresentam uma série de atividades práticas propostas para um grupo de alunos em iniciação científica ou tecnológica e relata que é notável (não mensurável) o ânimo dos alunos para trabalhos científicos relacionados ao tema de IC depois de dominarem na prática os temas vistos na teoria. Nas atividades práticas descritas, os alunos utilizam linguagens de descrição de hardware e simulação, ao contrário do trabalho descrito neste artigo, Oficinas de Projeto, que utiliza plataformas de hardware real. Apesar da proposta de Silva et al. assemelhar-se a deste trabalho, o objetivo aqui é produzir artefatos úteis no dia-a-dia e isto vem sendo feito, principalmente, com alunos de nível médio, como vai se ver mais adiante no texto.

Fernandes et al. [6], motivados pelo fato de que as instituições de ensino, em geral, têm poucos recursos para a montagem de laboratórios, apresentam uma infraestrutura construída com a utilização de computadores destinados ao descarte, para uso em disciplinas de Computação de Alto Desempenho, o

que, segundo os autores, colabora também na disseminação dos princípios de TI verde. Neste contexto, o presente trabalho, Oficinas de Projeto, chama a atenção para o baixo custo dos computadores miniaturizados Raspberry PI e que a montagem de um laboratório de apoio ao ensino das disciplinas, tratadas neste artigo, exclusivamente com eles, talvez seja uma alternativa viável a ser explorada.

Santos [7] apresenta a experiência com a adoção de projetos baseados no uso de plataformas de hardware aberto, como o kit Arduino, na disciplina de Introdução à Engenharia de Computação. O objetivo é aumentar a motivação dos estudantes e reduzir a evasão. O trabalho, descrito neste artigo, Oficinas de Projeto, apesar de não ter explicitamente estes objetivos, certamente tem aumentado a motivação dos alunos do campus; e vai além ao utilizar uma plataforma mais robusta em relação ao Arduino, que é o Raspberry PI, e também ao não ficar restrito ao âmbito de uma única disciplina.

Em [8] e [9] são descritas iniciativas de projeto usando hardware que vão além do propósito deste trabalho, não apenas pelos custos envolvidos, mas pela natureza dos cursos existentes no campus. Na primeira, os estudantes soldam componentes discretos sobre uma placa para criar sistemas customizados, o que poder-se-ia pensar como um possível trabalho futuro para as Oficinas de Projeto com Plataformas baratas de Hardware. Na segunda, são usadas FPGAs com o modelo do processador MIPS para experimentação com ferramentas de software de código aberto.

3. Minicursos e Sistema de Captura de Imagens – primeira fase do projeto

Na origem, o objetivo foi tão somente oferecer minicursos introdutórios ao Arduino, cujos potenciais educacionais não eram explorados no campus. Com um único kit, turmas pequenas consequentemente, o minicurso versava sobre o conceito Arduino, os componentes da placa, como adquiri-lo e torná-lo operacional, e uma gama de cinco experimentos básicos executados pelos participantes. Por volta de uma centena de estudantes, público interno, já frequentaram estes minicursos. A avaliação tem sido positiva. Em 2016, uma palestra sobre o Arduino foi proferida na Semana Acadêmica da área de Informática do campus, e, além disso, cerca de oitenta alunos de uma escola de uma cidade vizinha foram contemplados com palestras sobre o Arduino.

No final de 2016, iniciou-se o uso do Raspberry PI. Para quem teve experiência profissional com programação C em UNIX, o Raspberry é, realmente, cheio de possibilidades. Nas primeiras leituras sobre o

computador miniaturizado, chamou a atenção a aplicação de captura de imagens. O caminho natural, então, foi a montagem de um minicurso sobre o Raspberry PI. Ele seguiu a mesma estrutura do minicurso de Arduino, com a substituição dos cinco experimentos básicos pela instalação, configuração e testes do sistema de captura de imagens. Dezenas de alunos frequentaram este minicurso. Em paralelo à criação do minicurso introdutório ao Raspberry PI, o uso da aplicação de captura de imagens evoluiu para um sistema de monitoramento residencial extremamente útil, que está em efetivo uso há mais de três anos. Conta com oito computadores miniaturizados Raspberry PI e dezesseis *webcams*, duas por computador. A maioria das câmeras captura imagens externas da residência, mas há captura de imagens internas também. Em cada um dos computadores, roda a aplicação de captura de imagens que pode ser configurada em muitos aspectos, como a resolução das imagens obtidas e a taxa de captura, baseada na quantidade de pixels alterados entre uma foto e outra. Todas as imagens geradas são armazenadas num diretório do sistema operacional Raspbian, uma variante do Linux Debian para processadores ARM. A visualização das imagens em tempo real, também, está disponível.

Os computadores miniaturizados estão ligados à rede doméstica por Wi-Fi e configurados via *script shell*, acionado pelo utilitário *crontab* do Linux, a enviar todas as imagens para um servidor centralizado, que é um computador de mesa normal. Cada Raspberry PI conta com um diretório próprio no servidor centralizado e gera, em média, de duas a seis mil imagens por dia - uma imagem a cada dez segundos aproximadamente. Neste servidor, o proprietário pode examinar o que aconteceu na sua residência durante aquele dia específico. O envio das imagens dá-se através de NFS (*Network File System*), mas já foi usado FTP (*File Transfer Protocol*); e o SSH (*Secure Shell*) constitui, certamente, uma alternativa. Ademais, uma pequena amostra das imagens é enviada por e-mail, de tempos em tempos - de dois a cinco minutos - por meio de dois utilitários instalados em cada um dos computadores miniaturizados: um cliente de e-mail e um MTA (*Mail Transfer Agent*). Essas mesmas imagens, enviadas por e-mail, são, igualmente, armazenadas no Google Drive, em períodos de poucos minutos entre um envio e outro. Com isso, o proprietário, mesmo afastado, pode tomar alguma ação caso visualize algo de errado na residência. O último recurso disponível, na atual versão, é o acesso remoto ao servidor centralizado, que permite o monitoramento (em tempo real, inclusive) e a verificação do status de funcionamento dos vários Raspberry PI.

Eventualmente, um ou outro dos computadores miniaturizados pode ser deixado *offline*, isto é, com o adaptador Wi-Fi desativado, de forma que está livre de ataques externos à rede doméstica, com o ônus de que as imagens produzidas também serão acessadas apenas de forma *offline* através do manuseio do cartão MicroSD, que constitui o armazenamento secundário do Rasp.

Pela descrição acima, fica claro o entrelaçamento das tecnologias adotadas no sistema de monitoramento com os conteúdos listados nas ementas tradicionais de disciplinas básicas de Organização e Arquitetura de Computadores, Sistemas Operacionais e Redes de Computadores – oferecidas no campus em nível de graduação. Essa relação resultou no enriquecimento das aulas com a descrição de estudos de caso e, como o campus ainda não conta com um laboratório de Redes, os Raspberry Pis foram incorporados às aulas destas disciplinas para a execução de atividades práticas.

Em Organização e Arquitetura de Computadores, cujo livro-base é o do Stallings [10], a visualização/demonstração de elementos como placa-mãe, chips, interfaces de E/S e armazenamento secundário no Rasp é direta e muito mais descomplicada pelo seu porte miniaturizado (mas ainda assim um computador) do que usando um *desktop* ou *notebook*. No atual semestre, para esta disciplina, está planejado, também, a inclusão de atividades com o Assembly da arquitetura ARMv8. O interessante é que o Raspbian, sistema operacional Linux para o Raspberry PI, já vem com todos os utilitários, e inclusive uma IDE, para a programação em Assembly da arquitetura ARMv8.

Em Sistemas Operacionais, as possibilidades eram limitadas devido à política de uso dos laboratórios de Informática, que são de uso comum com outros cursos do campus – daí o cuidado redobrado por parte dos técnicos responsáveis. Os alunos não podem ter conta de administrador e tampouco conseguem fazer *download* de utilitários devido a bloqueios no *proxy*. Uma das estratégias adotadas era o uso de máquinas virtuais, onde o aluno instala o seu próprio sistema operacional, mas ele fica limitado ao que está na mídia de instalação. Com o uso dos raspberries, essas limitações desaparecem: os próprios alunos definem a senha do *root* no Raspbian e acessam a Internet via Wi-Fi usando o 4G dos seus celulares. Entretanto, apesar do leque de possibilidades que se abriu, o uso dos computadores miniaturizados ainda foi incipiente nesta disciplina, restrito ao uso de um Raspberry PI pelo professor para apresentação de utilitários do Linux.

Em Redes de Computadores, vale o mesmo que para Sistemas Operacionais: as possibilidades eram

limitadas devido à política de uso dos laboratórios de Informática, mas, nesta disciplina, os raspberries foram utilizados em laboratórios de atividades práticas. Com um Raspberry PI por dupla de alunos, acesso 4G à Internet via celular configurado como roteador, e um roteador Wi-Fi para os nós locais, os alunos testaram serviços de redes, a ferramenta Zabbix de monitoramento de redes e utilitários de testes de vulnerabilidades de redes. Vale relatar a mudança de postura de um dos alunos como resultado da nova metodologia: de mais faltoso da turma passou a demonstrar visível interesse e a sentar nas primeiras fileiras. Toda a turma mostrou mais motivação, mas este caso foi emblemático.

Em nível de extensão, a partir de maio de 2018, o projeto foi agraciado com dois bolsistas, alunos de ensino médio do campus, que debruçaram-se sobre o sistema de monitoramento residencial e implementaram alguns acréscimos, como a transferência de imagens para a nuvem (Google Drive).

Ao final desta primeira fase, em 2018, ficou claro que há muitas oportunidades de novos projetos em hardware e software, dentro ou fora do contexto do sistema de monitoramento, e em testes de vulnerabilidades tendo o sistema de monitoramento como alvo. Os próprios questionamentos dos alunos, em sala de aula, quando da apresentação dos estudos de caso, volta e meia, geram tarefas de experimentação para os bolsistas: um caminho de duas vias, os bolsistas aprendem e realimentam as aulas com novos dados e informações. Ficou claro também a necessidade de uma formação mais ampla e direcionada aos alunos que têm interesse em participar do projeto como bolsistas para que sintam-se mais seguros na hora de implementar as soluções; e a necessidade do coordenador do projeto ficar mais em contato com os alunos, servindo como uma consultor e auxiliar em seus projetos, para que eles não percam a motivação.

4. Formação Raspberry PI e Oficinas Makers – segunda fase do projeto

As potencialidades e necessidades, listadas no final da seção anterior, foram a motivação para a segunda fase do projeto, que tem como objetivo prover conhecimento (através de uma gama maior de cursos), recursos (kits Arduino e Raspberry PI) e espaço (sala e horários semanais para as atividades) para que os interessados (público em geral, interno e externo) possam executar experimentos que os levem a aprender a apreender e inovar.

Nesta nova fase, inaugurada em 2019, o minicurso introdutório ao Raspberry PI desdobrou-se em seis

minicursos (o minicurso de Arduíno foi mantido), a saber:

- 1) Introdução ao Raspberry PI – trata de como e o que adquirir, como torná-lo operacional e suas potencialidades (descrição dos demais minicursos da sequência) – 1 hora de duração;
- 2) Linha de Comandos e Programação Shell com Raspbian – apresenta os principais comandos do Linux e uma introdução à programação Shell (criação de *scripts*, variáveis, expressões e comandos) usando o Raspbian, com o objetivo de instrumentalizar para a manipulação de dados em futuros projetos – de 3 a 4hs;
- 3) Serviços de Redes com Raspberry PI – apresenta a instalação, a configuração e a utilização de alguns serviços de redes do Linux, como NFS, FTP, *ssh*, *e-mail*, *Rclone*, entre outros, também com o objetivo de instrumentalizar para a manipulação de dados – de 2 a 3hs;
- 4) Montando Circuitos com o Raspberry PI – neste, os participantes montam os cinco experimentos básicos do minicurso de Arduíno usando o Raspberry PI, sob o controle da linguagem *Python* ou *C* – de 2 a 3hs;
- 5) Vulnerabilidades de Redes Domésticas com Raspberry PI – apresenta ferramentas que explicitam as vulnerabilidades das nossas redes domésticas sem fio – *macchanger*, *aircrack-ng*, *crunch*, entre outras – de 2 a 3hs; e
- 6) Um Sistema de Monitoramento com Raspberry PI – apresenta a instalação, a configuração e testes de um sistema de captura de imagens e sua integração com a nuvem – de 1 a 2hs.

No momento em que escrevemos este artigo, a terceira turma está iniciando os minicursos. São turmas pequenas devido ao número reduzido de equipamentos e, até o momento, composta exclusivamente por estudantes do ensino médio do campus. Os alunos de graduação demonstram interesse, precisam de horas complementares para a sua formação, mas possuem horários muito restritos; e a comunidade ainda não foi informada dos novos cursos – uma divulgação está programada para 2020.

Em vista disso (público formado por estudantes do ensino médio), a necessidade apontada anteriormente, de um maior contato do coordenador, servindo como auxiliar e consultor nos futuros projetos dos alunos formados (na sequência de seis cursos), tornou-se ainda mais premente. Adicionalmente, sem um espaço para experimentar os conhecimentos adquiridos, os alunos iriam se desmotivar e esquecer o que aprenderam. A solução foi a criação de um espaço no campus onde os alunos vêm para propor projetos ou engajar-se naqueles em andamento. Este espaço foi

chamado de *Oficinas Makers* e acontece de duas a três vezes por semana, em períodos de duas a três horas, desde maio de 2019. Os primeiros projetos já estão operacionais e serão descritos na sequência.

O primeiro projeto é um desdobramento do sistema de monitoramento residencial. Foi proposta a ideia de uma unidade móvel de captura de imagens, onde a captura pudesse ser ativada ou desativada por ação do usuário. Uma situação de emprego deste projeto seria em passeios ciclísticos: a unidade seria acoplada à bicicleta para registrar imagens sem a necessidade de o ciclista parar. Poderia ser usada, igualmente, como câmera vestível ou câmera espiã – Fig. 1. Na sequência deste projeto, além de testes mais exaustivos, os responsáveis terão que tratar do *design* da unidade e da capacidade da bateria.

O segundo projeto surgiu da necessidade de driblar os poucos recursos existentes em celulares quando estes estão com o recurso *Roteador Wi-Fi* ativado. Para alguns dos frequentadores das oficinas Makers, o acesso 4G é bem mais rápido do que o acesso ADSL residencial. O *Pi-Router* é mostrado na Fig. 2 e já está operacional. De um lado, o celular que fornece o acesso à Internet e, de outro, um roteador Wi-Fi que é o ponto de acesso dos *hosts* locais. Na tela, são mostrados os pacotes capturados pelo *Tshark* na interface do Rasp com o roteador Wi-Fi da rede local. Há muitos desdobramentos para este trabalho, que certamente vai fornecer muitos estudos de casos para a disciplina de Redes de Computadores, como, por exemplo, utilitários para analisar, medir e controlar o tráfego que entra e sai da rede local doméstica.

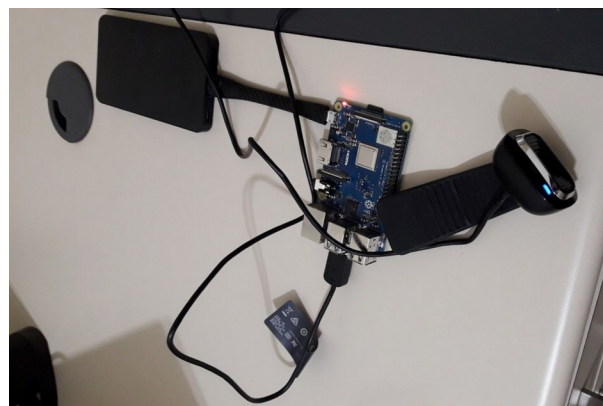


Fig. 1. Unidade Móvel de Captura de Imagens com Raspberry PI

O terceiro e último projeto (até o momento) trata-se de um *script* que varre os pontos de acesso Wi-Fi ao alcance, permite a seleção de um entre eles e tenta quebrar a senha do escolhido usando um conjunto de senhas mais comuns. Este projeto, além de um

excelente exercício para um dos estudantes que fez a formação Raspberry PI, será útil na disciplina de Redes de Computadores e na Mostra Técnica do Campus para demonstrar à comunidade, que visita a mostra, as fraquezas das nossas redes domésticas. Como continuação, foi proposto, ao responsável, registrar os endereços MAC que se conectaram, ao longo do tempo, naquele ponto de acesso, como forma de detectar acessos indesejados.

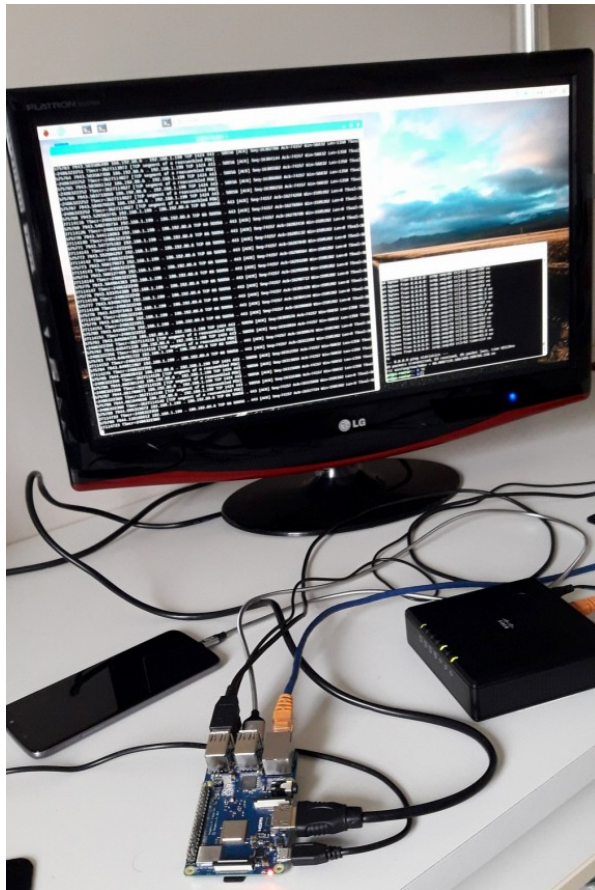


Fig. 2. Pi-Router

5. Conclusão e Trabalhos Futuros

Neste ponto, o projeto é autossustentável. A fonte de projetos é, literalmente, inesgotável e, naqueles projetos em andamento, a cada nova conquista, novos desafios surgem, como foi relatado na seção anterior. Isso, além de proporcionar experiência aos bolsistas engajados, produz estudos de caso para as disciplinas de Organização e Arquitetura de Computadores, Sistemas Operacionais e Redes de Computadores dos dois cursos do campus. O projeto manteve, em 2019, as mesmas duas bolsas com o qual foi agraciado em 2018. Mas, agora, até para medir o interesse

despertado, o projeto conta também com cinco bolsistas voluntários que frequentam, assiduamente, as Oficinas *Makers*. Como já foi mencionado, a terceira sequência de minicursos está sendo oferecida no momento da produção deste artigo. É provável que novos cursos surjam, e esse é um objetivo a ser buscado, além de uma maior divulgação junto à comunidade local por se tratar de um projeto de extensão.

Agradecimentos

Este trabalho recebeu grande contribuição dos bolsistas de extensão Gustavo Beche Lopes, Gabriel Pivato, Luan Baggio e Vitor Araújo Lengovski; também dos bolsistas voluntários Guilherme Fracalossi e Henrique Ambrosi; e um especial agradecimento ao apoio recebido da Diretoria de Extensão do campus Bento Gonçalves do IFRS.

10. References

- [1] R.B. Renna, Introdução ao Kit de desenvolvimento Arduino, Tutoriais PET-Tele, Universidade Federal Fluminense, 2018.
- [2] J. Williams, Raspberryp Pi 3: The Complete Step by Step Guide for Beginners, 2017.
- [3] S.N. Soares and F.R. Wagner, T&D-Bench - Innovative Combined Support for Education and Research, IEEE Transactions on Education, 2011.
- [4] V.B. da Silva and J.F.P. Cheiran, Análise do uso de microcontroladores como ferramenta de apoio ao ensino-aprendizagem de Arquitetura de Computadores, International Journal of Computer Architecture Education (IJCAE), v.4, n.1, dezembro de 2015, p.1 a 4.
- [5] I.S.Silva, F.C.S.Júnior, T.Patrocínio and F.C.L.Alves, Aprendendo na Prática: Relato de Sequência de Atividades Práticas em Iniciação Científica Relacionadas à Arquitetura de Computadores, International Journal of Computer Architecture Education (IJCAE), v.4, n.1, dezembro de 2015, p.5 a 8.
- [6] F. Fernandes et al, Utilização de Hardware Legado para o Ensino de CAD, International Journal of Computer Architecture Education (IJCAE), v.3, n.1, dezembro de 2014, p.17 a 20.
- [7] R. R. dos Santos, Utilização de Plataformas de Hardware Aberto no Ensino: Um Estudo de Caso na Disciplina de Introdução à Engenharia de Computação, International Journal of Computer Architecture Education (IJCAE), v.2, n.1, dezembro de 2013, p.37 a 40.

[8] E. Brunvand, Using Surface-Mount Components in an Embedded Systems Lab, Workshop On Computer Architecture Education 2015.

[9] D. Chaver, Y. Panchul, E. Sedano, D.M. Harris, R. Owen, Z. L. Kakakhel, B. Ableidinger and S. L. Harris,

Practical experiences based on MIPSfpga, Workshop On Computer Architecture Education 2017.

[10] W. Stallings, Arquitetura e Organização de Computadores, 10a edição, Editora Pearson, 2017.