

DESENVOLVIMENTO DE LABORATÓRIO REMOTO PARA SUPORTE AO ENSINO DE CONTROLE DE PROCESSOS INDUSTRIAS PARA ESTUDANTES DE ENGENHARIA ELÉTRICA

*DEVELOPMENT OF REMOTE LABORATORY TO SUPPORT THE TEACHING OF INDUSTRIAL PROCESSES
CONTROL TO ELECTRICAL ENGINEERING STUDENTS*

- **Luiz Ferreira Alves** (Universidade de São Paulo/USP – luiz.ferreira.alves30@gmail.com)
 - **Dennis Brandão** (Universidade de São Paulo/USP – dennis@sc.up.br)
 - **Fabrício Tietz** (Universidade de São Paulo/USP – fabricio.tietz@usp.br)

Resumo:

As tecnologias digitais estão cada vez mais presentes na área da educação. Mídias interativas, ambientes virtuais de aprendizagem e laboratórios remotos são alguns exemplos de recursos apoiados em servidores web, Internet e redes de computadores aproveitando vantagens, como interatividade, facilidade de acesso e escalabilidade. Neste contexto, este trabalho apresenta a implementação de uma ferramenta baseada no protocolo de conexão remoto via Internet RDP, a qual permite que os alunos cursando o oitavo período de Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo realizem práticas experimentais a distância com uma planta industrial didática real, pela disciplina “SEL0431 – Laboratório de Controle de Processos Industriais”. Será possível concluir, com uma pesquisa conduzida com os alunos, quais vantagens são obtidas com a adição do acesso remoto em comparação com o método exclusivamente presencial. Maior acessibilidade e flexibilidade em relação a horários e locais para operar a planta, simplicidade para acessar o equipamento, redução no tempo de conclusão dos experimentos e possibilidade de abertura de turmas maiores são alguns dos prós. O artigo ainda discute a viabilidade da implementação de acesso remoto para outras disciplinas experimentais e seu impacto no processo de aprendizagem dos discentes envolvidos.

Palavras-chave: Laboratório Remoto. Controle de Processos Industriais. Educação a Distância na Engenharia. Protocolo de Área de Trabalho Remota.

Abstract:

Digital technologies are increasingly present in the area of education. Interactive media, virtual learning environments and remote laboratories are some examples of resources based on web servers, Internet and computer networks taking advantages such as interactivity, ease of access and scalability. In this context, this work presents the implementation of a tool based on RDP remote connection protocol via Internet, which allows Electrical Engineering students attending the eighth period at the University of São Paulo to perform practical experiments at a distance with a real didactic industrial plant for the subject “SEL0431 – Industrial Processes Control Laboratory”. From a research carried out with the students, it will be possible to conclude which advantages are obtained from the increment of a remote access tool in comparison with the exclusively classroom method. Greater accessibility and flexibility in relation to schedules and locations to operate the plant, simplicity to access the equipment, reduction in the

time to complete the experiments and the possibility of creating larger classes are some of the pros. The article also discusses the feasibility of implementing remote access to other experimental disciplines and its impact on the learning process of the students involved.

Keywords: *Remote Laboratory. Industrial Processes Control. Distance Education in Engineering. Remote Desktop Protocol.*

1. Introdução

A evolução das tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) revolucionaram diversos aspectos da vida humana, afetando tarefas como, por exemplo, se comunicar com pessoas distantes geograficamente, buscar conhecimento, adquirir conteúdo multimídia e realizar compras de produtos importados. Essas e outras atividades cotidianas, antes restrinidas por falta de recursos tecnológicos estão vivenciando uma mudança de paradigma devido principalmente à expansão e popularização da rede mundial de computadores e telecomunicações. Estima-se que, somente no Brasil, há 120 milhões de usuários da Internet, 156 milhões de smartphones e 154 milhões de computadores e tablets ((UNCTAD), 2017).

“As vantagens dessa gama de mídias e tecnologias existentes, como facilidade de acesso, uso intuitivo e interativo, escalabilidade e flexibilidade de data e local de uso são algumas características que tornam as TDIC cada vez mais presentes no mundo da educação” (ASSANTE; TRONCONI, 2015, p. 479). Diversas plataformas de apoio utilizando a Internet, mídias interativas ou dispositivos *mobile* estão surgindo e alterando o cenário do sistema educacional.

Tradicionalmente, o processo de ensino-aprendizagem era exclusivamente baseado no docente como figura central transmitindo informações aos discentes em uma sala de aula, enquanto que, de acordo com Sung (2015), o uso de recursos digitais, os alunos participam de forma mais colaborativa e autônoma do seu próprio processo de aprendizagem e não estão restritos a um local ou data específicos para buscar conhecimento ou se relacionar com o docente responsável.

Exemplos consagrados de plataformas adotadas por instituições, alunos e professores são Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVA), cursos *on-line* que podem ser agendados a qualquer momento ou de qualquer local, tutoriais e vídeo-aulas em *websites*, laboratórios virtuais e remotos e aplicativos.

Apesar das inúmeras opções e vantagens que cada plataforma possui, a implementação de um determinado recurso deve considerar as necessidades e o domínio tecnológico dos estudantes envolvidos. Para o caso de disciplinas experimentais cursadas em instituições de ensino superior, técnico ou tecnólogo, os estudantes possuem bom domínio das ferramentas de informática e possuem acesso diário a algum dispositivo conectado à rede, seja um computador de uso pessoal, um notebook ou celular. Contudo, limitações, como a carga horária insuficiente para completar os experimentos e salas com grande número de alunos para poucos equipamentos, podem prejudicar a aprendizagem dos alunos ou desmotivá-los durante a disciplina.

Para superar essas limitações, há Universidades que optam por projetos de laboratórios remotos. Segundo Garcia-Zubia, Lopez-de-Ipiña e Orduña (2008, p. 620), “seu propósito é permitir com que os discentes realizem práticas com sistemas e equipamentos reais acessados através da Internet, porém com uma sensação de interatividade e controle do experimento comparável aos laboratórios tradicionais”, acessados presencialmente, de tal forma a contribuir com o aprendizado de quem realiza o experimento.

A Universidad de León criou um site onde os estudantes cadastrados nas disciplinas de Engenharia de Controle, Regulação Automática e Automação Avançada pudessem monitorar e controlar uma planta industrial didática composta por quatro reservatórios de água e equipamentos industriais (DOMÍNGUEZ et al., 2011). Ainda utilizando uma solução *web*, a Università Telematica Internazionale permite aos alunos do curso de engenharia elétrica controlar uma célula fotovoltaica remotamente (ASSANTE; TRONCONI, 2015). Outras universidades utilizam diversas soluções para criar laboratórios acessíveis por quaisquer alunos do mundo que tenham uma conta registrada em um banco de dados. O MIT iLab (HARWARD, 2008) e o WebLab-Deusto (QIAO et al., 2010) são dois dos projetos de laboratórios remotos em escala internacional mais reconhecidos.

Conforme Gomes e Bogosyan (2009), os requisitos que norteiam a criação de projetos de laboratórios remotos são escalabilidade para suportar uma grande quantidade de estudantes, facilidade para realizar o experimento, visualizar e obter seus dados, visto que a prática não é presencial, baixo tempo de resposta entre os comandos dados pelos estudantes e a resposta do sistema, facilidade de uso e interação com o equipamento, e uso de soluções de *hardware* e *software* abertas e de baixo custo.

Além da implementação em si do laboratório acessado remotamente, a avaliação contínua da disciplina e da ferramenta são importantes para garantir que os estudantes sejam positivamente impactados e se sintam motivados a concluir os experimentos, como feito em Melkonyan, Akopian e Cheng (2009) e em Domínguez et al. (2011).

2. Motivação do trabalho

A principal motivação para este trabalho é dar suporte aos estudantes de Engenharia Elétrica da Universidade de São Paulo (USP) que cursam a disciplina SEL0431 – Laboratório de Controle de Processos Industriais. Para isso foi necessário analisar o perfil dos discentes matriculados, a dinâmica da disciplina e o *feedback* dos mesmos sobre as práticas experimentais, material e tempo disponíveis e sugestões adicionais.

Os estudantes matriculados cursam o sexto, oitavo ou décimo períodos, possuem conhecimentos em informática, automação e controle, adquiridos em disciplinas anteriores, e têm uma quantidade média de 30 a 35 horas-aula semanais. Esta disciplina é optativa, porém, é limitada a duas turmas de 16 alunos cada, um número abaixo da demanda de um curso com 100 novos estudantes a cada ano.

2.1. Dinâmica da disciplina e descrição resumida da planta didática

Uma turma é separada em 4 grupos com 4 estudantes em cada grupo. Essa divisão é feita em função da quantidade de experimentos simultâneos feitos com a planta didática industrial, cuja visão frontal é mostrada na Figura 1.



Figura 1. Planta industrial didática utilizada na disciplina.

Fonte: Autoria própria.

4

Esta planta foi construída por alunos de Engenharia do campus de São Carlos da USP e possui três malhas de controle distintas: uma malha de controle de temperatura da água que circula pela planta, uma malha de controle de nível de água dos reservatórios acrílicos, e uma malha de controle de fluxo de água pelo sistema. Cada malha de controle possui seu próprio controlador lógico programável (CLP), portanto, é possível realizar três experimentos simultaneamente. A quarta prática consiste no desenvolvimento de um sistema de supervisão das variáveis de processo.

Este equipamento possui diversos instrumentos, como sensores, inversores de frequência, transmissores, sinalizadores luminosos, bombas d'água e atuadores de fabricantes distintos, cada um ligado ao controlador da sua respectiva malha de controle, além de diferentes redes de campo industriais: PROFIBUS, HART e Modbus.

Para se conectar à planta, os grupos utilizam computadores no próprio laboratório, os quais possuem os programas necessários para realizar cada experimento, ligados à rede local do laboratório via Ethernet, assim como cada CLP. Assim, durante 2016, primeiro ano em que esta planta foi utilizada na disciplina, as práticas eram todas presenciais.

O objetivo de cada prática é desenvolver um programa para realizar o controle em modo manual, através dos botões do painel elétrico principal, ou automático da variável de processo de cada malha: vazão, temperatura ou nível de um reservatório a escolha, ou realizar o monitoramento dessas variáveis no caso da prática de sistema supervisório. O prazo para conclusão de cada projeto é três semanas com uma aula de 1:40 de duração por semana. No final deste prazo, cada grupo inicia outra prática.

2.2. Identificação de necessidades para a disciplina através do feedback dos alunos

Ao final de cada prática, cada integrante de cada grupo deveria responder a um formulário com questões referentes à qualidade do material didático e tutoriais disponíveis para realização dos experimentos, ao tempo de conclusão da prática, à experiência com a planta didática, além de identificar sugestões e necessidades dos alunos durante a execução da prática. Tanto os tutoriais de apoio às práticas quanto o formulário, cujas questões são expostas na Tabela 1, estão hospedados no Moodle, um AVA para gerenciamento de cursos *on-line*. Nas questões cujas respostas possíveis são 0 a 10, 0 equivale a “discordo completamente” e 10, a “concordo completamente”.

Tabela 1. Formulário de avaliação contínua da disciplina de Laboratório de Controle de Processos Industriais.

	No.	Questão	Respostas possíveis
Identificação do grupo	1	Em qual prática o grupo está trabalhando?	1.temperatura 2.nível 3.vazão 4.supervisão
	2	A qual grupo você pertence?	1/2/3/4
	3	Qual o dia de aula deste grupo?	Quarta/Quinta
Questões de avaliação dos aspectos da disciplina	1	Os objetivos desta prática e as instruções dadas para atingi-la foram claros?	0 a 10
	2	Experimentos com a planta didática auxiliaram no aprendizado de controle de processos industriais?	0 a 10
	3	Os monitores e professor conseguiram sanar suas dúvidas?	0 a 10
	4	Você se sentiu motivado a realizar os experimentos com a planta?	0 a 10
	5	Você se sentiu confiante/confortável para realizar os experimentos?	0 a 10
	6	Foi fácil obter os dados da planta?	0 a 10
	7	Foi fácil operar a planta e concluir o experimento?	0 a 10
	8	Práticas semelhantes devem ser criadas para outras disciplinas?	0 a 10
	9	Foi necessário interagir com outros grupos?	0 a 10

	10	Qual o tempo de conclusão da prática (semanas)?	1, 2, 3 ou mais
	11	A prática cumpriu com as suas expectativas?	0 a 10
	12	O material disposto no Moodle foi suficiente?	0 a 10
	13	Quais etapas tomaram mais tempo?	Aberta
	14	Sugestões adicionais	Aberta

Fonte: Autoria própria.

Foram coletadas 64 respostas para o formulário, e a partir destas, foi possível tirar as seguintes conclusões:

- 25% das práticas tomaram mais de 3 semanas para serem concluídas;
- O tempo médio que um grupo levou para concluir uma prática, sem considerar a elaboração dos relatórios, foi de aproximadamente 3,1 semanas (3,8 para prática de nível, 3,4 para prática de vazão, 2,9 para prática de supervisão, 2,1 para temperatura);
- O tempo médio de conclusão de cada prática decaiu ao longo do semestre;
- Durante as primeiras semanas, foi necessário operar a planta em horários alternativos para concluir os experimentos;
- Alguns estudantes não conseguiram adiantar as práticas fora da sala de aula pois alguns programas não são gratuitos;
- As maiores notas foram para as perguntas “Você se sentiu motivado a realizar os experimentos com a planta?”, com média 9,6 e “Práticas semelhantes devem ser criadas para outras disciplinas?”, com média 9,8;
- As piores notas foram para as perguntas “Foi fácil obter os dados da planta?”, com média 7,7 e “Foi necessário interagir com outros grupos?”, com média 6,3.

Analizando os resultados e considerando a falta de horários extras disponíveis para operar a planta, visto que há outras disciplinas sendo ministradas no mesmo laboratório, concluiu-se que seria vantajosa a introdução de uma ferramenta que permitisse com que os estudantes operassem a planta didática remotamente.

6

3. Objetivos

Os objetivos centrais deste trabalho são desenvolver e implementar uma ferramenta que torne possível o acesso remoto da planta didática utilizada para ensino de controle de processos industriais para alunos da Engenharia Elétrica a partir de qualquer dispositivo com conexão a Internet, e elaborar uma pesquisa com os discentes matriculados, por meio de um questionário, para futuramente analisar quais as principais vantagens e desvantagens dos experimentos realizados a distância através da ferramenta selecionada.

4. Metodologia

O primeiro passo para iniciar o desenvolvimento da ferramenta de acesso remoto foi analisar quais os requisitos para este projeto e quais as limitações desta implementação.

Para ser acessível via rede, a planta necessita de algum equipamento com conexão a Internet. Somente os CLP possuem um endereço *Internet Protocol* (IP), contudo, eles estão conectados à rede local do laboratório e não são acessíveis fora desta rede local.

Implementar um dispositivo que conecte os elementos da planta à Internet exige atenção quanto aos aspectos de segurança tanto a nível de rede quanto a nível físico. Isso exige que algumas medidas sejam adotadas, como por exemplo, autenticação do usuário conectado remotamente a planta, criptografia de mensagens, além de um CLP, já presente na planta, inacessível aos alunos e que garanta o seu funcionamento da em condições seguras.

Programas e protocolos livres de licença que funcionem em máquinas e dispositivos móveis com diferentes sistemas operacionais (SO): Windows, Linux, MAC OS, Android e iOS são os principais, e que suportem múltiplos usuários trabalhando simultaneamente desde que não seja na mesma prática, porque um CLP só aceita uma conexão por vez.

Acesso à planta e a seus dados deve ser intuitivo, rápido e prático e o tempo de resposta entre uma requisição do usuário e uma resposta da planta didática deve ser baixo. Altas latências prejudicam a experiência do usuário com o instrumento de acesso à distância.

A sensação de interação com a planta mesmo distante também é um fator importante, portanto, recursos adicionais como câmeras de vídeo e um sistema supervisório redundante monitorando e demonstrando o estado das variáveis da planta em tempo real devem ser acrescentados.

Considerando todos os requisitos para este projeto, o próximo passo é pesquisar na literatura trabalhos sobre acesso remoto e laboratórios remotos, analisar quais são as principais soluções disponíveis, e concluir qual delas é a mais adequada para este trabalho, julgando se adaptações serão necessárias.

Muitos trabalhos descrevendo laboratórios remotos optam por utilizar servidores *web* e *proxy* para conseguir acesso a uma rede local com CLP operando plantas didáticas (BERMÚDEZ-ORTEGA et al., 2015; DOMÍNGUEZ et al., 2011). Estes servidores separam a Internet da rede interna, onde operam os controladores, e somam-se a configurações de *firewall* para adicionar uma camada de segurança entre elas prevenindo ataques externos à rede do laboratório. Com o advento dos microcomputadores de uso pessoal, tais como a Raspberry Pi, o usuário se conecta diretamente a este dispositivo, dispensando configurações de rede mais complexas e usufruindo das vantagens de um *hardware* de baixo custo (SAHIN; OLMEZ; ISLER, 2010). Há ainda uma solução alternativa à implementação de um servidor *web*: são os programas comerciais de acesso remoto. Melkonyan, Akopian e Chen (2009) realizam um estudo comparando os principais *softwares* quanto a preço, SO suportados e recursos disponíveis, como TeamViewer, VNC, LogMeIn, *Remote Desktop Connection*, entre outros.

4.1. Desenvolvimento da ferramenta de acesso remoto para a planta didática

A solução adotada foi embarcar um computador DELL Inspiron 1520 com SO Windows 7 à planta industrial para atuar como gateway entre a rede local do laboratório e a rede da Universidade, chamada USPNet. As razões que nortearam essa escolha foram:

- *Hardware* com memória e processamento suficiente para instalação e operação dos programas necessários: TIA Portal para programação dos CLP da Siemens S7-1200 para malha de temperatura e nível, Citrino Tools para programação do CLP Fertron para malha de nível, e Elipse SCADA para a prática de supervisão;
- Os programas utilizados são compatíveis apenas com algumas versões do Windows, e a versão 7 é utilizada no laboratório;
- Possibilidade de implementar e gerenciar conexões simultâneas, exigindo autenticação para acesso de usuário no servidor;
- Disponibilidade deste equipamento em laboratório.

Este computador recebe um endereço IP externo fixo, acessível através da USPNet, e que foi substituído por um nome para facilidade de conexão: “sel0431.ddns.net”. Para acesso remoto, foi escolhido o protocolo *Remote Desktop Protocol* (RDP), suportado por diversos programas. Logo, o computador embarcado ao equipamento industrial é um servidor RDP, e as máquinas utilizadas pelos alunos para conexão com o servidor são os clientes (HUTCHINSON; BEKKERING, 2009). Os principais motivos pelos quais este trabalho opta por programas operando com base em RDP foram:

- Os programas de conexão remota baseados em RDP são gratuitos e podem vir instalados previamente na máquina dos alunos;
- Com algumas alterações em configurações do Windows 7, o RDP funciona com clientes conectados simultaneamente;
- Apesar deste computador atuar como servidor Windows, os clientes podem acessá-lo a partir de máquinas com diferentes SO. Para um usuário com máquina operando Windows, este programa é o Remote Desktop Connection; com Linux, Remmina Remote Desktop Client; com MAC OS, Android ou iOS, Microsoft Remote Desktop. As interfaces destes programas são muito similares entre si;
- Interface simples de usar, como demonstra a Figura 2;
- Inclui camada de segurança com criptografia de 128 bits para comunicar dados;
- Suporte a transferência de arquivos, áudio e vídeo;
- Baixo tempo de resposta entre o acontecimento dos eventos do sistema e o que é visualizado pelo usuário.

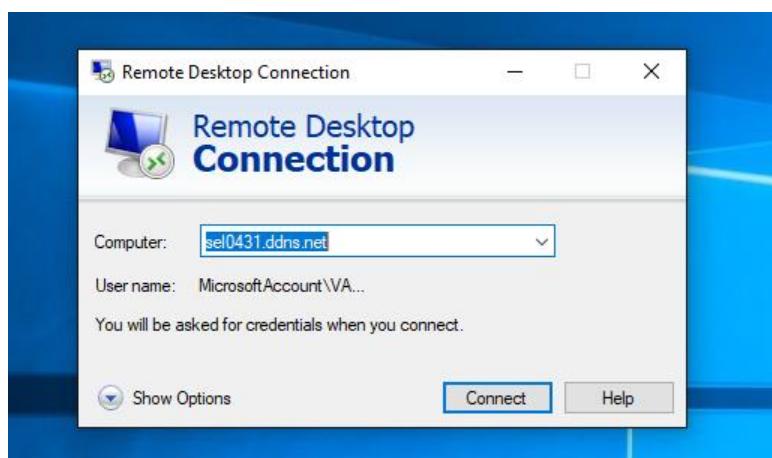


Figura 2. Interface para conexão remota com o servidor a partir de um cliente Windows 10.
 Fonte: Autoria própria.

Ao acessar o endereço do servidor, o cliente deve inserir as credenciais de usuário, que consistem em um nome, que corresponde ao nome da prática: TEMPERATURA, SUPERVISAO, VAZAO ou NIVEL, e uma senha. Ao inserir esses dados, o estudante tem acesso à Área de Trabalho do usuário, com todos os programas necessários, como mostrado na Figura 3. Este protocolo é utilizado em aplicações de virtualização de áreas de trabalho, para que o cliente tenha acesso ao mesmo ambiente que ele acessa presencialmente no laboratório.

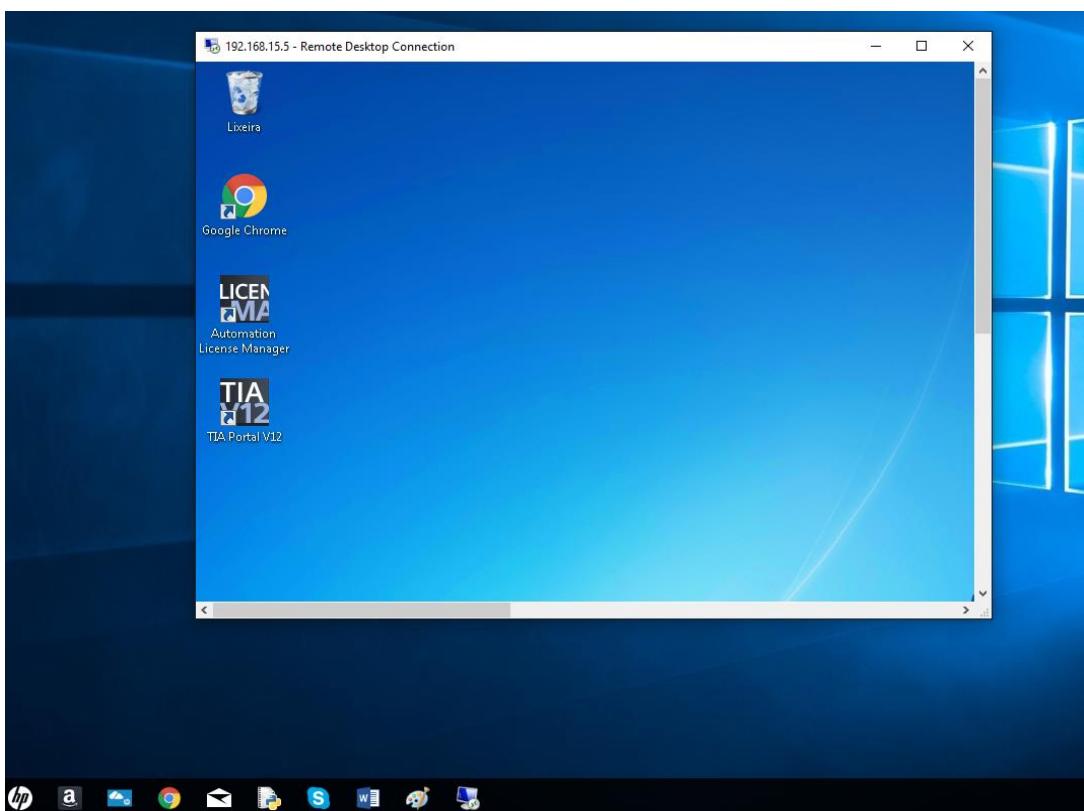


Figura 3. Exemplo de acesso remoto ao usuário de nível no servidor.

Fonte: Autoria própria.

9

Os usuários que se encontram fora do ambiente da Universidade devem acessar a rede USPNet por meio de uma Rede Privada Virtual, ou *Virtual Private Network* (VPN) (TANENBAUM; WHETERALL, 2011, p. 515), através de um programa *open source* da empresa Cisco. Este programa, chamado Cisco AnyConnect Secure Mobile Client, cuja interface é mostrada na Figura 4, também é multiplataforma e exige autenticação do cliente, que só consegue conexão à rede caso tenha *login* e senha USP.

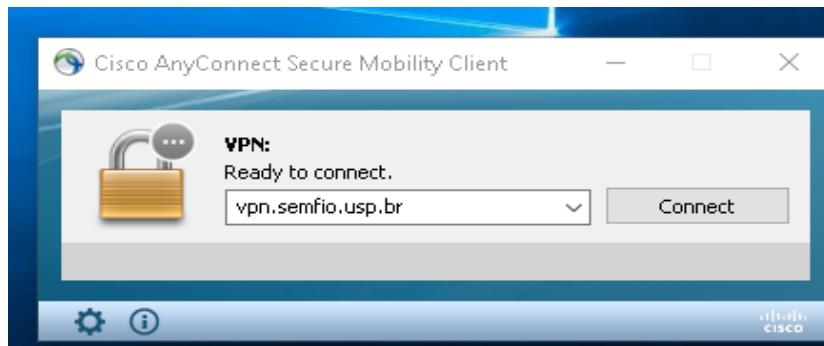


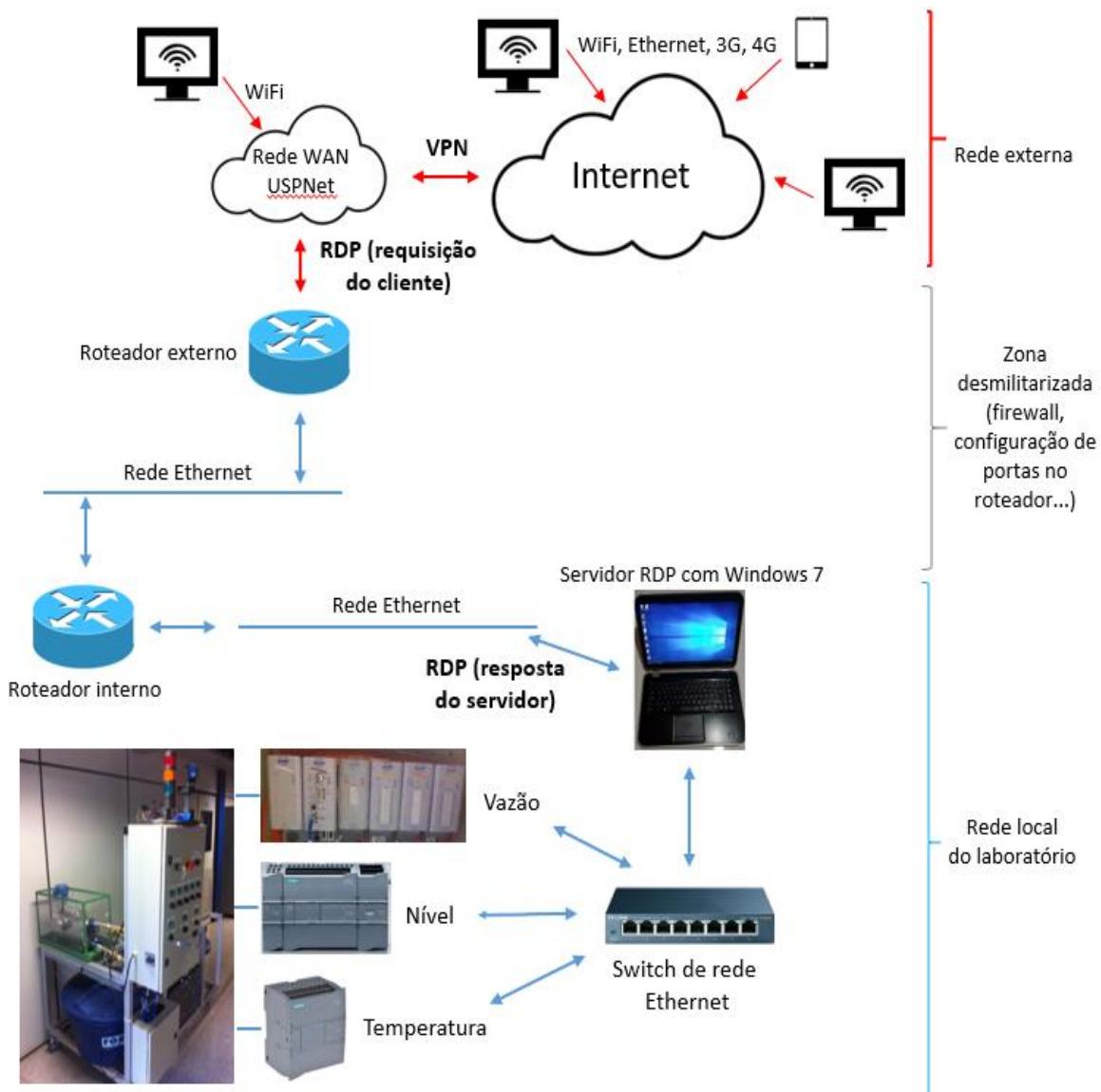
Figura 4. Conexão à USPNet via VPN.

Fonte: Autoria própria.

Os tutoriais para conexão à USPNet via VPN, se necessário, e conexão ao servidor por algum *software* funcionando sobre o protocolo RDP estão no AVA da disciplina, assim como os tutoriais para realização das práticas.

Ainda que a decisão pelos recursos utilizados considere vários requisitos e aspectos de segurança, a implementação da ferramenta é transparente aos estudantes. Ao acessar um usuário no servidor, eles possuem permissões restrinidas por um usuário administrador disponível somente para os tutores e docente da disciplina. As únicas tarefas permitidas são fazer *logon* em algum usuário padrão do servidor, trabalhar com os programas disponíveis na área de trabalho, navegar pela *web* e fazer *logoff* ou trocar usuário.

A arquitetura da implementação desta ferramenta é exposta na Figura 5.



11

Figura 5. Arquitetura do sistema após a implementação da ferramenta de acesso remoto.

Fonte: Autoria própria.

4.2. Recursos adicionais para suporte ao acesso remoto

Ao operar presencialmente a planta didática, o aluno consegue visualizar os estados das variáveis da planta, manuseá-la durante o modo manual de controle e observar os eventos que ocorrem com o equipamento. Assim como em outros casos de laboratórios remotos, identificou-se a necessidade de implementar alguns recursos no servidor para que os clientes não perdessem informações sobre a planta durante sua operação via remota. Por esse motivo, foram instaladas 3 câmeras de vídeo, cada uma focada em um ponto da planta, e cujas interfaces com o cliente foram gerenciada pelo software Yawcam.

Outro recurso adicional implementado foi uma aplicação de Internet das Coisas Industrial, que consistiu na criação de um sistema supervisório via web, que captura os valores de todas as variáveis de cada controlador da planta ainda que ele não esteja

operando e os expõe em um *website* (TIETZ, 2017). Este trabalho é independente da implementação do acesso remoto e foi aplicado aos CLP para servir como um sistema de monitoramento redundante ao que é desenvolvido em uma das práticas, e de fácil visualização para os estudantes conectados.

Esses recursos, expostos na Figura 6, são inicializados automaticamente, assim que alguém inicia uma sessão em algum usuário do servidor.

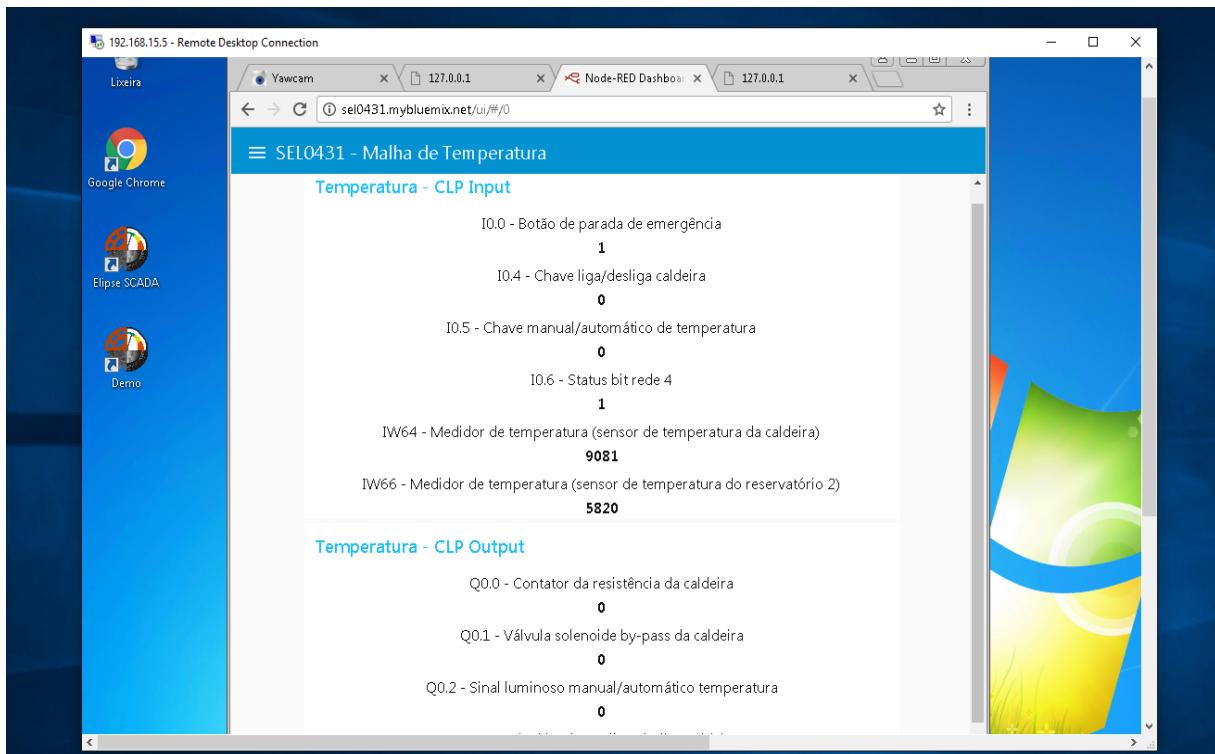


Figura 6. Sistema supervisório redundante e câmeras inicializadas após o *logon* no servidor.

Fonte: Autoria própria.

12

O último recurso extra implementado é um *software* gratuito que monitora e registra o histórico das sessões RDP com o servidor, denominado UserLock. Ele está acessível somente para o administrador e fornece informações como o nome e IP da máquina cliente, qual o usuário ao qual ela se conectou e datas de *logon* e *logoff*, conforme Figura 7.

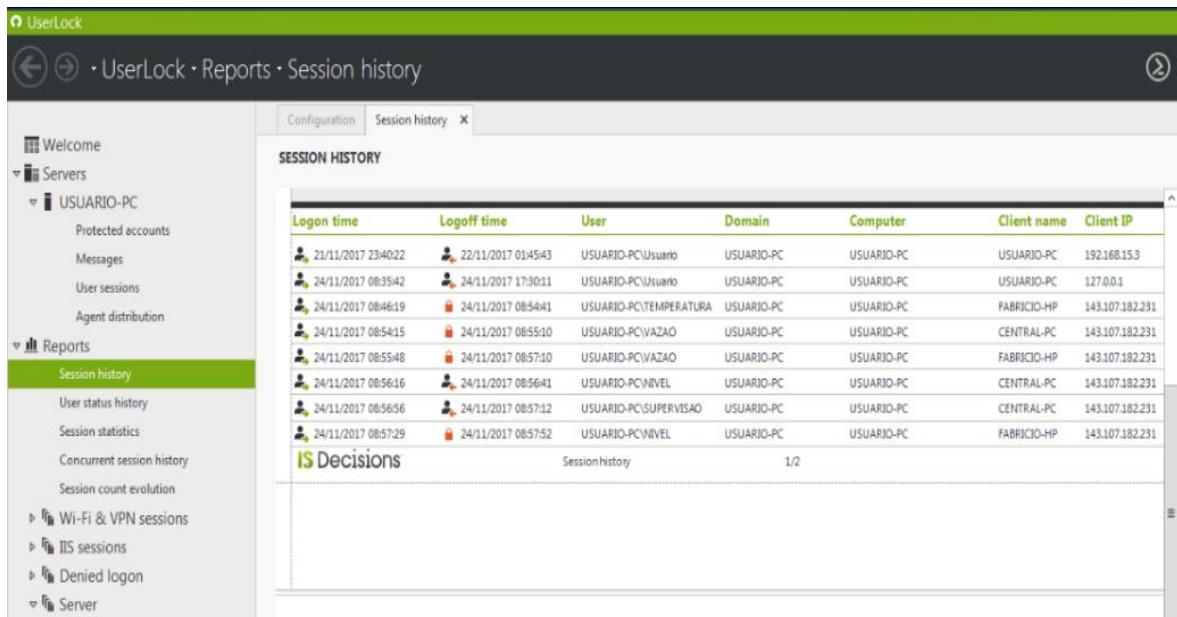


Figura 7. Exemplo de tela de monitoramento de sessões RDP com o programa UserLock.

Fonte: Autoria própria.

A partir da análise deste registro histórico, é possível calcular qual o tempo total acessado por cada cliente, o número de acessos e concluir, desta maneira, se a ferramenta auxiliou em reduzir o tempo de conclusão das práticas.

4.3. Formulário de avaliação da ferramenta de acesso remoto pelos alunos

Aliando os dados de registro dos acessos às respostas de um formulário de avaliação, será possível deduzir quão efetiva foi a introdução de um laboratório remoto baseado em RDP sobre VPN para a disciplina e para o aprendizado dos estudantes matriculados. Por esse motivo, foi elaborado um formulário de avaliação dos aspectos da ferramenta de acesso remoto, paralelo aquele cujas questões estão na Tabela 1. As questões presentes estão organizadas na Tabela 2, mostrada abaixo.

13

Tabela 2. Questionário de avaliação do instrumento de acesso remoto da disciplina SEL0431.

	No.	Questão	Respostas possíveis
Identificação do grupo	1	Em qual prática o grupo está trabalhando?	1.temperatura 2.nível 3.vazão 4.supervisão
	2	A qual grupo você pertence?	1/2/3/4
	3	Qual o dia de aula deste grupo?	Quarta/Quinta
Questões de avaliação dos aspectos da	1	Qual a quantidade de acessos que você fez?	Aberta
	2	Qual a duração de cada acesso feito?	Aberta
	3	Qual o meio utilizado para realizar o acesso? E qual o sistema operacional deste meio?	Aberta

conexão remota	4	Qual o tempo de conclusão da prática (semanas)?	1, 2, 3 ou mais
	5	É sua primeira experiência com laboratório remoto?	Sim ou não
	6	Avalie a disponibilidade de usar a planta com o acréscimo do acesso remoto.	0 (não mudou nada) a 10 (aumentou muito)
	7	Você se sente mais seguro usando a planta via remota em relação a prática presencial?	0 (indiferente) a 10 (sinto-me muito mais seguro)
	8	É fácil conectar-se ao servidor?	0 (muito difícil) a 10 (muito fácil)
	9	É fácil obter os dados da planta e observar quais eventos estão ocorrendo?	0 (muito difícil) a 10 (muito fácil)
	10	Tive sensação de controle sobre meu experimento, não tive dificuldades em interagir com a planta.	0 (discordo completamente) a 10 (concordo completamente)
	11	Me senti motivado a operar a planta remotamente.	0 (discordo completamente) a 10 (concordo completamente)
	12	Me senti confiante/confortável operando a planta remotamente.	0 (discordo completamente) a 10 (concordo completamente)
	13	Quão útil foi a ferramenta de acesso remoto para você?	0 (nada útil) a 10 (muito útil)
	14	Quais vantagens e desvantagens de usar acesso remoto para experimentos didáticos? Dê sugestões adicionais.	Aberta
	15	Quais recursos você utilizou (transferência de arquivo, acesso à Internet...)?	Aberta
	16	Eu recomendaria o uso de laboratórios remotos para outras disciplinas.	0 (jamais) a 10 (recomendaria fortemente)

Fonte: Autoria própria.

14

5. Resultados, discussões e considerações

A planta didática funcionou de forma adequada mesmo quando operada remotamente e todos os requisitos listados na sessão 4 foram cumpridos:

- O atraso para recepção dos eventos da planta e envio de informações para a mesma foi irrelevante e não comprometeu o andamento das práticas;
- Em alguns momentos dois clientes estiveram conectados simultaneamente, mas em usuários diferentes;
- A segurança foi adequadamente implementada neste trabalho, desde o nível físico com um CLP dedicado, ao nível de criptografia com o protocolo RDP e autenticação na conexão à USPNet;
- As únicas exigências aos estudantes que se conectaram à planta foram o acesso à USPNet, diretamente ou por VPN, e o acesso ao programa que suporta o protocolo RDP. Todas as outras implementações foram transparentes.

O laboratório remoto serviu como uma extensão do laboratório presencial, portanto, optou-se por uma solução de fácil acesso que replicasse o ambiente em que o discente realiza seus testes, com os mesmos aplicativos e recursos.

Apesar dos resultados positivos, houve algumas dificuldades durante o desenrolar do projeto e que merecem atenção quando futuros trabalhados baseados na mesma solução apresentada aqui forem implementados:

- Naturalmente o RDP não permite dois usuários conectados ao mesmo servidor no Windows 7. Quando uma máquina cliente está conectada a um usuário, ela bloqueia o acesso a outros usuários automaticamente, e essa situação é contornada modificando o arquivo termsrv.dll;
- Quando uma máquina cliente está conectada a um usuário, se outro cliente se conectar a esse mesmo usuário, ele invade a sessão e desconecta o cliente previamente conectado sem aviso, e isso pode acarretar na perda de arquivos importantes. A solução adotada foi escrever um script utilizando a ferramenta PowerShell do Windows e alterar as atribuições de direito dos usuários. Desta forma, enquanto um usuário estiver com uma sessão iniciada, outros clientes só podem se conectar a outros usuários livres até ele encerrar a sessão;
- Para permitir a conexão via RDP ao servidor foi necessário liberar o acesso à porta 3389. Isso exigiu a permissão da equipe de informática da Universidade;
- Durante acesso remoto, a operação no modo manual fica comprometida. Foram escritos tutoriais que explicam como forçar entradas via *software*, sem necessidade de comutar as chaves fisicamente no painel.

Ainda que a planta disponibilizasse mais horários para realização das práticas, ela não possui um laboratório exclusivo e divide, portanto, a mesma sala com outras disciplinas e equipamentos. Assim, a ferramenta de conexão remota só estava disponível às sextas-feiras.

Até o presente momento, 22/11, ainda há grupos concluindo a prática, estudantes acessando a planta remotamente e respondendo aos questionários. Foram registrados acessos de 11 estudantes diferentes, de um total de 32 que cursam a disciplina e um total de 25 acessos diferentes. Contudo, só há 3 respostas registradas no questionário, um número insuficiente para extrair algumas conclusões. A quantidade de acessos é mostrada percentualmente pela Figura 8. Foram 10 acessos ao usuário de nível, 7 ao de vazão, 5 ao de supervisão e 3 ao de temperatura.

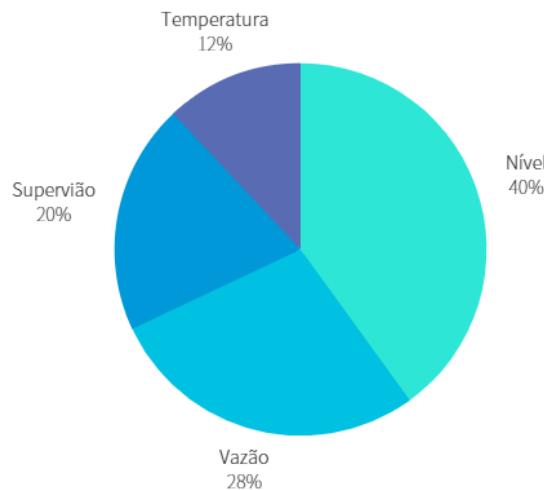


Figura 8. Percentual de acessos de cada usuário em relação ao total.
 Fonte: Autoria própria.

Além do número de acessos, é possível comparar o tempo médio de conclusão de cada prática no ano de 2017, considerando somente as práticas já finalizadas e com o suporte do laboratório remoto, com tempo médio medido no ano passado, onde os experimentos ocorriam somente durante as aulas.

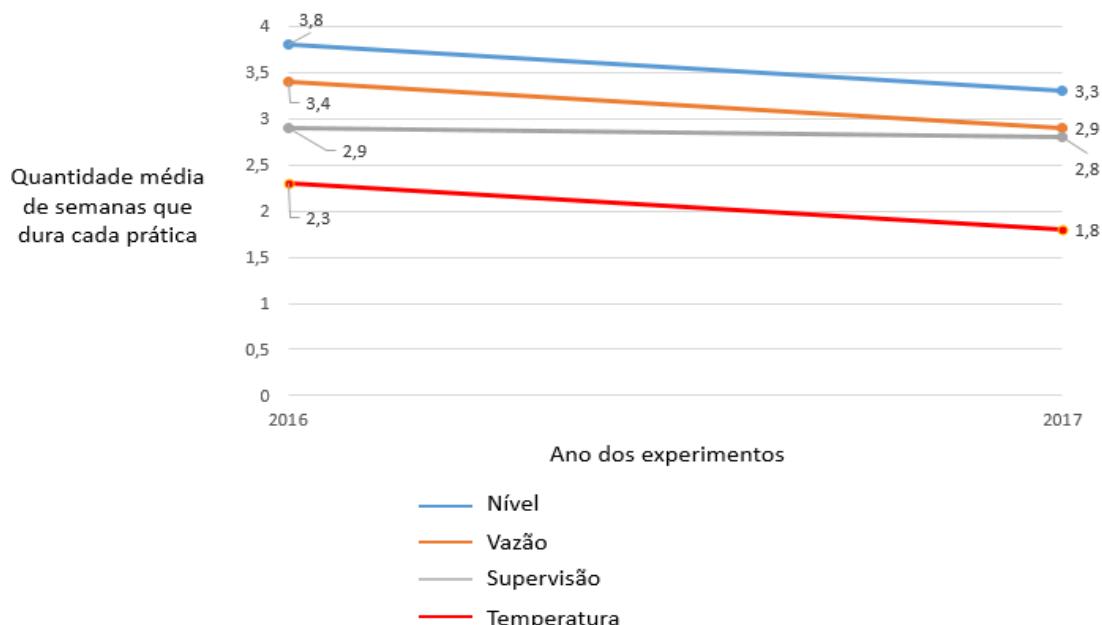


Figura 9. Tempo médio de conclusão das práticas nos anos de 2016 e 2017.
 Fonte: Autoria própria.

Enquanto os questionários não estão respondidos por todos os alunos, é possível comparar os relatórios e os projetos desenvolvidos pelos alunos nos dois anos. Em 2017, alguns grupos realizaram alguns testes a mais, como por exemplo, dois grupos diferentes que durante a prática de controle de nível conseguiram trabalhar com os dois reservatórios acrílicos, e não somente com um como é inicialmente proposto. Outro exemplo foram alguns grupos da prática de temperatura, o quais controlaram também a abertura de uma das válvulas solenoides e, dessa maneira, regularam a temperatura de um dos reservatórios d'água.

6. Conclusões

A pouca disponibilidade de tempo para as práticas da disciplina, a falta de equipamentos e recursos financeiramente acessíveis, o custo da licença de alguns programas e a carga horária extensa são fatores que, aliados à difusão e popularização das tecnologias digitais, motivaram a criação de um sistema de acesso remoto embarcado à planta.

O uso da ferramenta por parte de alguns alunos reduziu o tempo médio de conclusão de cada prática, e auxiliou no processo de aprendizagem de controle de processos industriais porque permitiu que o tempo economizado fosse preenchido em sala de aula com experimentos diferentes, permitindo que os alunos explorassem melhor os recursos da planta didática. A única ressalva é quanto a prática de sistema supervisório, que depende de outros usuários operando a planta para registrar as mudanças nas variáveis monitoradas, logo, apesar do número de acessos, não apresentou muita variação no tempo médio de término.

Foi notado também que as práticas com maior grau de complexidade e que exigiram mais tempo para serem concluídas exigiram mais acessos ao servidor.

Por envolver vários equipamentos industriais diferentes e complementar o ensino de conteúdos importantes, como teoria de controle, automação, redes de comunicação industriais e programação de controladores industriais, a disciplina SEL0431 – Laboratório de Controle de Processos Industriais poderia ser aproveitada em outros cursos. A ferramenta de acesso remoto aumenta a disponibilidade de uso da planta, contudo, utiliza a infraestrutura de rede da USP, o que limita seu uso a estudantes que pertencem a esta Universidade. Além disso, seu uso por um número muito grande de estudantes torna conveniente a criação de um instrumento para agendamento de conexões.

O exemplo apresentado para este projeto apresentou alguns obstáculos técnicos por trabalhar com múltiplos usuários simultâneos e diversos requisitos. Apesar disso, as restrições não prejudicaram a experiência dos discentes com o laboratório remoto, e a solução apresentada no artigo, baseada no protocolo RDP funcionando sobre uma rede do tipo *Wide Area Network* (WAN), pode ser replicada para outras disciplinas, mudando talvez o hardware utilizado dependendo dos requisitos.

7. Referências

ASSANTE, Dario; TRONCONI, Massimo. A remotely accessible photovoltaic system as didactic laboratory for electrical engineering courses. **2015 IEEE Global Engineering Education Conference (educon)**, [s.l.], p.479-485, mar. 2015. IEEE. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1109/educon.2015.7096013>>. Acesso em 13 nov. 2016.

BERMÚDEZ-ORTEGA, J. et al. Remote Web-based Control Laboratory for Mobile Devices based on EJsS, Raspberry Pi and Node.js. **Ifac-papersonline**, [s.l.], v. 48, n. 29, p.158-163, 2015. Elsevier BV. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.11.230>>. Acesso em 4 dez. 2016.

Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento (UNCTAD). **Economia da Informação 2017: Digitalização, Comércio e Desenvolvimento**. Geneva: Nações Unidas, 2017. 130 p. Disponível em: <http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/ier2017_en.pdf>. Acesso em: 23 out. 2017.

DOMÍNGUEZ, M. et al. Remote laboratory of a quadruple tank process for learning in control engineering using different industrial controllers. **Computer Applications in Engineering Education**, [s.l.], v. 22, n. 3, p.375-386, 20 jun. 2011. Wiley-Blackwell. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/cae.20562>>. Acesso em 1 dez. 2017.

GARCIA-ZUBIA, J.; LOPEZ-DE-IPIÑA, D.; ORDUÑA, P. Mobile Devices and Remote Labs in Engineering Education. **2008 Eighth IEEE International Conference On Advanced Learning Technologies**, [s.l.], p.620-622, jul. 2008. IEEE. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1109/icalt.2008.303>>. Acesso em 24 nov. 2016.

GOMES, L.; BOGOSYAN, S. Current Trends in Remote Laboratories. **IEEE Transactions On Industrial Electronics**, [s.l.], v. 56, n. 12, p.4744-4756, dez. 2009. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1109/tie.2009.2033293>>. Acesso em 2 nov. 2016.

HARWARD, V. J. et al. The iLab Shared Architecture: A Web Services Infrastructure to Build Communities of Internet Accessible Laboratories. **Proceedings of The IEEE**, [s.l.], v. 96, n. 6, p.931-950, jun. 2008. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1109/jproc.2008.921607>>. Acesso em 30 nov. 2016.

HUTCHINSON, D.; BEKKERING E. Using Remote Desktop Applications in Education. **Information Systems Education Journal**, [s.l.], v. 7, n. 13, pp. 1-13, mar. 2009. Proceedings of ISECON. Disponível em: <<http://isedj.org/7/13/>>. Acesso em 4 jul. 2017.

MELKONYAN, Arsen; AKOPIAN, David; CHEN, C. L. Philip. Work in progress - real-time remote Internet-based communication laboratory. **2009 39th IEEE Frontiers in Education Conference**, [s.l.], p.1-6, out. 2009. IEEE. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1109/fie.2009.5350825>>. Acesso em 15 nov. 2016.

QIAO, Yuliang et al. NCSLab: A Web-Based Global-Scale Control Laboratory with Rich Interactive Features. **Ieee Transactions On Industrial Electronics**, [s.l.], v. 57, n. 10, p.3253-3265, out. 2010. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/tie.2009.2027924>>. Acesso em 10 nov. 2016.

SAHIN, Savas; OLMEZ, Mehmet; ISLER, Yalçın. Microcontroller-Based Experimental Setup and Experiments for SCADA Education. **Ieee Transactions On Education**, [s.l.], v. 53, n. 3, p.437-444, ago. 2010. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1109/te.2009.2026739>>. Acesso em 30 out. 2016.

SUNG, Joung-souk. Design of Smart Learning in Mobile Environment. **International Journal of Software Engineering and Its Applications**, [s.l.], v. 12, n. 9, p.373-380, set. 2015. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.14257/ijseia.2015.9.12.33>>. Acesso em 4 jun. 2017.

TANENBAUM, Andrew; WHETERALL, David. **Redes de Computadores**. 5. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2011. 582 p.

TIETZ, Fabrício. **Desenvolvimento de um gateway de internet das coisas para automação industrial**. 2017. 85 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.