



## **GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS ELÉTRICOS - GTL**

### **DESENVOLVIMENTO DE APLICAÇÃO DE ASSISTÊNCIA REMOTA EM REALIDADE AUMENTADA PARA AUXÍLIO DURANTE PROCEDIMENTO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA NO SETOR ELÉTRICO**

**SERGIO RICARDO ZERBETTO MASSON (1); BERNARDO RODRIGUES DA ROSA (1); FABYANA FREIRE VENTIN (1); WAGNER LUIZ ORTIZ MARQUES (2); MARCOS PAULO BARCELLOS DE MORAIS (2); MARCIO ROMERO GALARDO JUNIOR (3); RÔMULO DE OLIVEIRA TEIXEIRA (3); CARLOS AUGUSTO MACHADO GOMES (2)**  
**RADIX ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE S/A (1); LIGHT SERVIÇOS DE ELETRICIDADE S.A., (2)**

#### **RESUMO**

As tecnologias de realidade aumentada (RA) tiveram um avanço significativo nos últimos anos com a introdução de novos hardwares, frameworks e plataformas de desenvolvimento. Na área de manutenção industrial, já foi observado que a RA pode trazer ganhos significativos de desempenho para a diminuição do tempo de procedimentos e das falhas durante a manutenção. Além disso, as tecnologias modernas de vídeo chamadas possibilitam que soluções customizadas possam ser integradas a aplicações de RA. Dessa forma, o presente trabalho visa o desenvolvimento de uma plataforma de suporte ao técnico de uma subestação utilizando RA no qual a operação de manutenção possa ser assistida por um especialista.

**PALAVRAS-CHAVE:** Realidade Aumentada. WebRTC. Assistência Remota. Manutenção.

#### **1.0 INTRODUÇÃO**

Indicadores de segurança atraem forte atenção das empresas do setor elétrico (ANEEL, 2016). A busca por oferecer condições de trabalho seguras para seus colaboradores é um esforço contínuo, onde avanços são feitos constantemente. Com os avanços da indústria 4.0 passam a ser cada vez mais importantes a agilidade e a precisão nos procedimentos de manutenção.

Ao mesmo tempo, a complexidades dos equipamentos e suas variedades vem aumentando consideravelmente, o que leva a mudanças estruturais necessárias a procedimentos de manutenção convencionais (Baldissarelli e Fabro, 2019). Especialistas na área apontam que a falta de treinamento e a baixa experiência por parte dos mantenedores são os dois principais fatores que contribuem para acidentes (Tatić e Tešć, 2017).

Avanços nas tecnologias de realidade aumentada e virtual, assim como em tecnologias de vídeo chamada e assistência remota, representam um grande potencial para que essas novas tecnologias tenham um impacto significativo na segurança e eficiência de procedimentos de manutenção.

Há mais de uma década atrás, já se faziam estudos propondo o uso de realidade aumentada como uma forma de criar experiências colaborativas para auxiliar em procedimentos de manutenção. Em trabalhos como o de Bottecchia e colaboradores são desenvolvidas aplicações nas quais são utilizadas de forma conjunta a realidade aumentada e tele-assistência para realização de procedimentos de manutenção de sistemas mecânicos (Bottecchia *et al.*, 2009).

Morkos *et al.* (2012) desenvolveram uma aplicação para dispositivos móveis capazes de fornecer informações em tempo real para o usuário utilizando realidade aumentada. Além disso, em áreas como a aviação, já podem ser encontrados trabalhos que apresentam resultados promissores para o uso de realidade aumentada para treinamento de procedimentos de manutenção (De Crescenzo *et al.*, 2011).

Ao longo dos últimos 10 anos, novas plataformas de realidade aumentada como o Microsoft HoloLens, e plataformas de desenvolvimento de software como os frameworks ARCore da Apple e ARToolkit da Google vem democratizando a realidade aumentada e trazendo seu uso gradualmente para o cotidiano das empresas.

A partir de 2016, com o lançamento do Microsoft HoloLens, a realidade aumentada passou a ter uma nova família de dispositivos disponíveis como plataformas comerciais de desenvolvimento. O dispositivo possui um grande diferencial por se tratar de um headset, e permitir que o usuário mantenha suas mãos livres durante a realização da tarefa. Isso facilita seu uso em atividades em que não possa haver interferências nas capacidades motoras do operador.

Em paralelo às inovações de hardware, novas tecnologias de chamada remota possibilitaram uma padronização nas vídeos chamadas através da internet e democratizaram seu desenvolvimentos através de frameworks abertos

e com suporte a múltiplas plataformas. Este foi o caso da plataforma WebRTC (Microsoft, 2021) inicialmente proposta pela Google em 2011. O uso de WebRTC para desenvolvimento de soluções corporativas possui grandes desafios, tanto do ponto de vista de implementação quanto de segurança (Johnston *et al*, 2013). No entanto, a agilidade fornecida pelo frameworkss somada à adesão que recebeu de grandes projetos e plataformas, fez com que esta tecnologia rapidamente se estabelecesse como uma das grandes alternativas para a realização de chamadas de vídeo online (Alexandru, 2014).

Considerando esse somatório de avanços em tecnologias de hardware de realidade aumentada e novos frameworks que facilitam o desenvolvimento de soluções corporativas, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de uma aplicação de realidade aumentada para a plataforma Hololens, que tanto auxilie o técnico de manutenção fornecendo informações sobre o procedimento a ser realizado, quanto possibilite uma assistência remota de um especialista em tempo real. O trabalho é fruto do projeto de pesquisa e desenvolvimento "Assistência Remota em Manutenção em Subestações Elétricas através do uso de Realidade Aumentada" no âmbito do programa de P&D da ANEEL, com apoio financeiro e tecnológico das empresas Light SESA e Light Energia, e execução da empresa RADIX.

## 2.0 MÉTODOS

Para a implementação da solução foi necessário o desenvolvimento de três aplicações distintas: (1) Uma aplicação de realidade aumentada para a plataforma Hololens; (2) Um portal web; (3) Um sistema backend.

A primeira deverá ser utilizada pelo profissional de manutenção em campo. A segunda deverá ser utilizada pelo especialista remoto, além de outros profissionais da Light, para a realização das chamadas remotas e para configuração das atividades no Hololens (cadastro e agendamento de procedimentos de manutenção, cadastro de ativos e equipamentos de campo, adição de manuais e materiais, entre outros). E finalmente, a componente textitbackend deverá fornecer informações para ambos os sistemas e gerenciar o tráfego de mensagens do protocolo WebRTC.

Nas sessões a seguir, trataremos com mais detalhes da etapa 1: o desenvolvimento da aplicação para Hololens.

### 2.1 TRANSMISSÃO DE VÍDEO UTILIZANDO WEBRTC

Para a transmissão de vídeo e áudio entre o especialista remoto e o mantenedor em campo, optou-se pelo uso da tecnologia WebRTC. Essa tecnologia é amplamente utilizada em soluções comerciais e apresentar várias vantagens quando comparadas com outras alternativas, sendo as principais delas: ser uma tecnologia de código aberto, ter suporte nativo nos navegadores líderes de mercado (Google Chrome, Firefox, Opera, Safari, Microsoft Edge), possuir API para desenvolvimento em múltiplas plataformas (Windows, Linux, Mac, Android, IOS e Universal Windows Platform). É especialmente importante o suporte da tecnologia à plataforma Plataforma Universal do Windows (UWP) pois o Hololens só suporta aplicações escritas para essa plataforma. Além do suporte já mencionado à plataforma UWP, foi considerado um diferencial a existência de um projeto de código aberto da Microsoft que visa disponibilizar e simplificar o desenvolvimento de aplicações WebRTC para as plataformas de realidade aumentada.

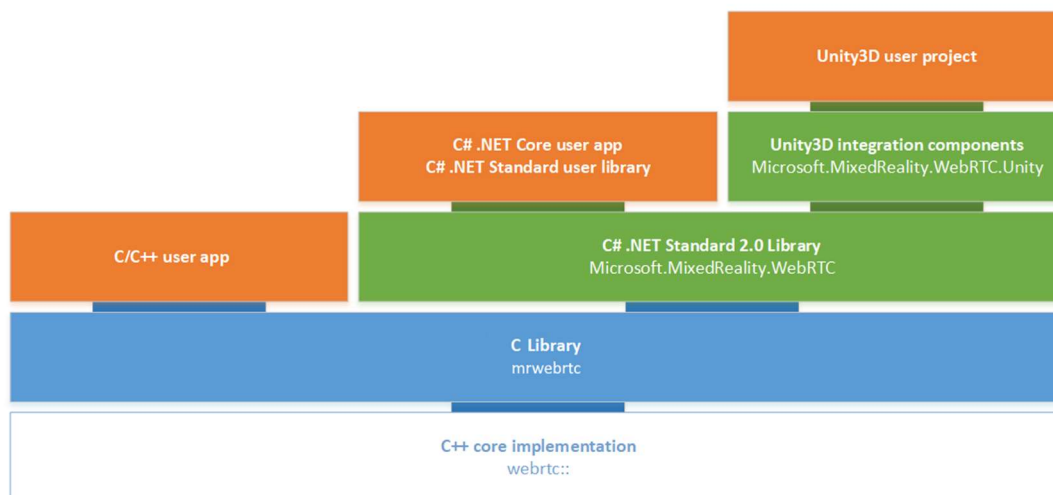


Figura 1 - Arquitetura da plataforma Mixed reality WebRTC (Microsoft, 2021)

O processo de *signaling* do protocolo WebRTC foi implementado através de uma solução customizada baseada em webSockets. Criou-se um servidor backend utilizando Node.JS e hospedada no nuvem Microsoft Azure. Uma vez

efetuado a identificação do usuário na aplicação Hololens, seria criada uma conexão webscoket direta com o servidor Node.js. O servidor manteria uma lista dos usuários logados e suas respectivas conexões webscoket abertas. As mensagens de signaling necessárias para o estabelecimento da comunicação WebRTC são então enviadas através do webscoket e redirecionadas pelo servidor até seus respectivos alvos.

Uma vez finalizado o processo de signaling, a ligação é então iniciada com a transmissão em tempo real do áudio e vídeo do Hololens para a aplicação e do áudio da aplicação web para o Hololens 2.

## 2.2 APLICAÇÃO HOLOLENS

Para o desenvolvimento da aplicação Hololens, optou-se por utilizar a engine Unity3D devido ao seu grande ecossistema e suporte ao desenvolvimento de aplicações realidade aumentada.

No entanto, partes da aplicação como o streaming de vídeo e futuras funcionalidades de visão computacional possuem requisitos de performance que demandariam um processo de desenvolvimento mais próximo ao hardware.

Além disso, optou-se por criar um pipeline de desenvolvimento onde o máximo de funcionalidades possível pudesse ser testada no editor do Unity (desktop). Para isso, muitas funcionalidades específicas das plataformas UWP não estão presentes através da API .NET padrão do Unity.

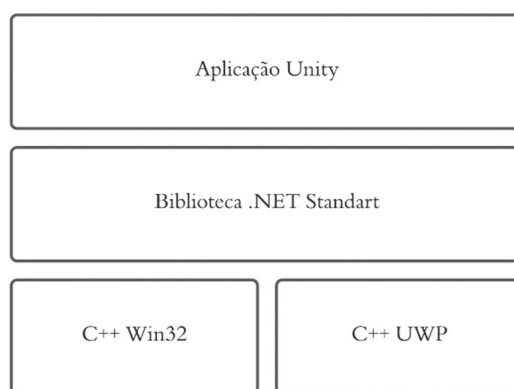


Figura 2 - Pilha de tecnologias utilizadas para o desenvolvimento

## 2.3 ANCORAGEM DE INSTRUÇÕES DO ESPECIALISTA REMOTO

Para a criação dos hologramas de orientação que possibilitem ao especialista remoto orientar o mantenedor em campo, foi desenvolvida uma ferramenta que transforma eventos de clique realizados na componente de vídeo da aplicação web em pontos para a ancoragem de hologramas no espaço holográfico do Hololens.

Para isso, são transmitidas as coordenadas X e Y em pixels dos pontos onde foi realizado o clique na imagem de vídeo. Essas informações são enviadas para a aplicação Hololens através de uma comunicação Webscokets e então são traduzidas na coordenada 3D para o ponto no espaço correspondente ao pixel.

Para determinar a posição no espaço através de uma coordenada 2D do pixel na imagem da câmera, utilizamos as matrizes de projeção da webcam que fez a aquisição do quadro. Essa matriz pode ser obtida utilizando a API da plataforma UWP para aquisição de imagens da webcam como descrito pelo projeto HololensForCV (Hololens for Computer Vision) [?]. Com a matriz de projeção e a matriz que posiciona a câmera no espaço 3D da cena virtual do Unity, é possível inverter ambas as matrizes para uma matriz que projeta um ponto na imagem da câmera para um ponto no espaço 3D. Como a matriz de projeção não é inversível, algo esperado pois várias profanidades na cena 3D pode dar origem ao mesmo pixel, realiza-se então o mapeamento para o ponto cuja a distância da câmera seja igual a 1.

Em seguida, é obtida a equação da reta utilizando o centro da câmera (c) e o ponto projetado na distância unitária (p).

O ponto de ancoragem do holograma de instrução no espaço 3D é por fim determinado como sendo a intercessão da reta A com a malha espacial do Hololens.

## 3.0 RESULTADOS

Ao final do processo de desenvolvimento, obtivemos uma aplicação que executa com sucesso a ligação entre o Hololens 2 e a aplicação web utilizada pelo especialista remoto. A ligação ocorre mesmo em cenários onde é necessário utilizar conexão 4G através de um hotspot do celular do operador.

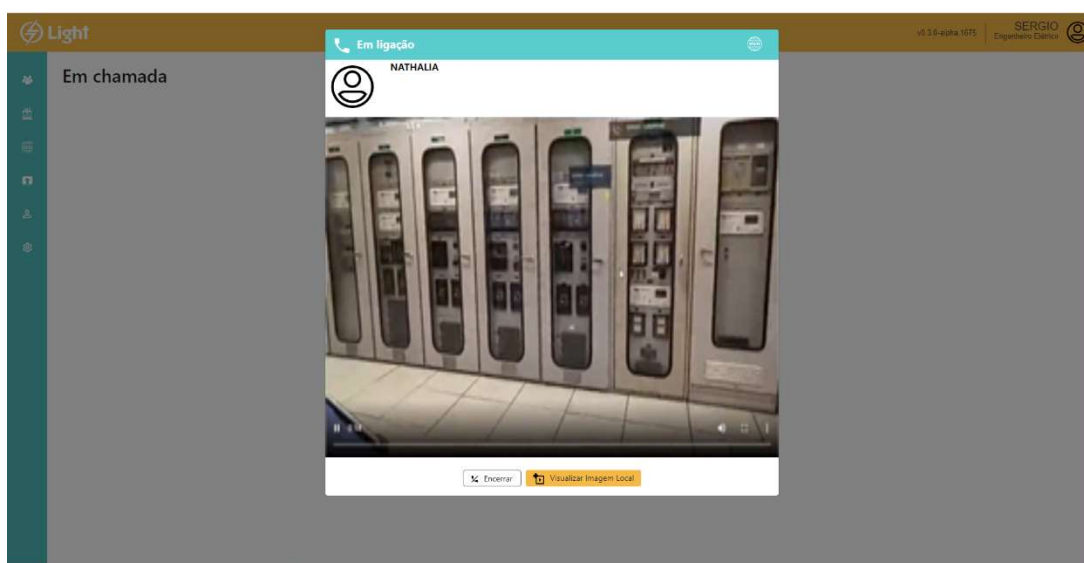


Figura 3 - Assistência remota realizada entre um usuário na subestação da Light e um membro da equipe de desenvolvimento

A ligação pode ser realizada tanto quando o mantenedor deseja contactar o especialista remoto, quanto quando o especialista remoto deseja contactar o operador. Ao receber uma ligação, o especialista remoto é informado o nome do mantenedor que está ligando, bem como sua localização (de qual subestação ou usina da Light ele está falando) e qual ordem de serviço está executando (quando houver).

### 3.1 DESEMPENHO DA APLICAÇÃO

Durante o desenvolvimento percebeu-se que a transmissão de vídeo durante a assistência remota pode ser influenciada por pela resolução na qual se deseja transmitir o vídeo, assim como pelo CODEC utilizado para a compressão. Apesar dos avanços de hardware em relação ao Hololens 1, o Hololens 2 ainda possui um hardware com características de dispositivo móvel e, portanto, performance é um fator essencial que deve ser considerado durante o desenvolvimento.

Resolução (pixels)	Aquisição (fps)	Transmissão (fps)	Unity (fps)
1920 X 1080	60	2	0,1
1280 X 720	60	6	13
960 X 540	60	15	23
760 X 428	60	21	30
640 X 360	60	25	30

Tabela 1 - Desempenho de configurações para captura de vídeo no Hololens 2 utilizando CODEC VP8

Utilizando diversas configurações de vídeo observou-se uma relação direta entre a taxa de quadros da aplicação Unity (que para uma boa experiência do usuário não deve ser menor do que 30 quadros por segundo), a taxa de quadros transmitida pela ligação de vídeo e a resolução dos quadros transmitidos. A tabela 1 mostra como essa relação foi determinante para a decisão de realizar a captura de vídeo na resolução de 640 por 360 pixels.

Também é possível configurar a API WebRTC para utilizar uma variedade de CODECs diferentes para a compressão de vídeo. O HoloLens 2 tem o CODEC H264 suportada via hardware. No entanto, para garantir uma compatibilidade com qualquer tipo de dispositivo, é possível optar pelo CODEC VP8. O impacto dos diferentes CODECs pode ser observado na tabela 2.

No entanto, utilizar o CODEC H264 se mostrou inviável pois a API MRWRTC se mostrou instável quando utilizando essa configuração. Não foi possível garantir a estabilidade da aplicação para a realização de chamadas entre o HoloLens e hardwares arbitrários pois não seria possível garantir a compatibilidade com o H264.

Codec	Uso de CPU médio (%)	Unity (fps)
H264	80	30
VP8	100	30

Tabela 2 - Impacto do Codec na performance da aplicação HoloLens para transmissão de vídeo na resolução 640 por 360.

Mesmo apresentando um ganho de performance significativo, optou-se por utilizar o CODEC VP8. Além disso, é importante observar que mesmo havendo uma variação no uso de CPU a engine Unity mantém a taxa de quadros da aplicação fixa em 30 quadros por segundo quando submetida a um uso intenso de CPU, portanto, o uso do CODEC H264 não traria uma mudança de imediata na usabilidade da aplicação pelo usuário.

#### 4.0 CONCLUSÃO

A criação de uma aplicação de vídeo chamadas para a plataforma HoloLens 2 pôde ser desenvolvida de forma customizada utilizando uma ampla variedade de tecnologias. A engine Unity 3D em conjunto com o framework Mixed Reality Toolkit (MRTK) agilizou o processo de desenvolvimento permitindo que as atividades fossem focadas na implementação de tecnologias específicas. E o projeto MRWRTC se mostrou uma importante e confiável componente oferecendo uma implementação sólida e nativa do protocolo WebRTC.

É importante ressaltar que as limitações de hardware do HoloLens 2 precisam ser consideradas para o desenvolvimento de tais aplicações. O acesso quadro a quadro durante a transmissão de vídeo, em paralelo ao funcionamento da aplicação em realidade aumentada, foi possível com a utilização da linguagem C++ para a implementação de componentes que representam um gargalo de performance. Além disso, escolha correta das configurações e resoluções para a transmissão de vídeo também tiveram um papel central na viabilidade da solução.

#### 5.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica Segurança do Trabalho e das Instalações.** 2016. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/seguranca-do-trabalho-e-das-instalacoes>>.
- ALEXANDRU, C. **Impact of WebRTC (P2P in the Browser).** Internet Economics VIII, v. 39, 2014.
- BALDISSARELLI, L.; FABRO, E. **Manutenção Preditiva na indústria 4.0.** Scientia cum Industria, v. 7, n. 2, p. 12–22, 2019. ISSN 2318-5279.
- BOTTECCHIA, S. et al. **A new AR interaction paradigm for collaborative teleassistance system.** The POA. International Journal on Interactive Design and Manufacturing, v. 3, n. 1, p. 35–40, 2009. ISSN 19552513.
- De Crescenzo, F. et al. **Augmented reality for aircraft maintenance training and operations support.** IEEE Computer Graphics and Applications, v. 31, n. 1, p. 96–101, 2011. ISSN 02721716.
- JOHNSTON, A.; YOAKUM, J.; SINGH, K. **Taking on webRTC in an enterprise.** IEEE Communications Magazine, v. 51, n. 4, p. 48–54, 2013. ISSN 01636804.
- MICROSOFT. **HoloLens for Computer Vision.** 2018. Disponível em: <<https://github.com/microsoft/HoloLensForCV>>.
- MICROSOFT. **MixedReality-WebRTC.** 2021. Disponível em: <<https://github.com/microsoft/MixedReality-WebRTC>>.
- MORKOS, B. et al. **Mobile devices within manufacturing environments: a BMW applicability study.** International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJDeM), v. 6, n. 2, p. 101–111, 2012. ISSN 1955-2505. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12008-012-0148-x>>.
- TATIĆ, D.; TEŠIĆ, B. **The application of augmented reality technologies for the improvement of occupational safety in an industrial environment.** Computers in Industry, v. 85, p. 1–10, 2017. ISSN 01663615.

## DADOS BIOGRÁFICOS



Formado (2017) em Engenharia Biomédica pela UFABC e com graduação sanduíche pela Universidade de Toronto. Em 2014 teve trabalho premiado no Canadá, utilizando visão computacional e realidade aumentada para auxiliar fisioterapia de crianças com paralisia cerebral.

Entre 2015 e 2019 trabalhou como desenvolvedor de aplicação em realidade para treinamento médico, e visualização de exames médicos com foco na plataforma Hololens. De 2019 a 2021 atuou na Radix como especialista em realidade aumentada no projeto de P&D de Realidade Aumentada da Light, desenvolveu as principais funcionalidade na integração com a plataforma Hololens e implementação da vídeo chamada em tempo real.

### (2) BERNARDO RODRIGUES DA ROSA

Formado, em 2015, em Engenharia Química pela UFRJ. Iniciei meu trabalho na Radix Engenharia e Desenvolvimento de Software SA em Dezembro/2013, como estagiário. Sendo contratado como engenheiro em Maio/2015. Trabalhando inicialmente no setor comercial e desde 2018 venho trabalhando como coordenador de projetos para diversos clientes e tipos de projeto: ciência de dados, engenharia e desenvolvimento de software. Atuo desde Outubro/2020 no projeto de P&D para a Light, cujo título é "ASSISTÊNCIA REMOTA EM MANUTENÇÃO EM SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS ATRAVÉS DO USO DE REALIDADE AUMENTADA", realizando atividades de acompanhamento junto a equipe de desenvolvimento das soluções

### (3) FABYANA FREIRE VENTIN

Engenheira Química formada em 2004 pela UFRJ com Mestrado em Engenharia Química pela COPPE/UFRJ e MBA em Gerenciamento de Projetos pela FGV-RJ. Experiência de mais de 15 anos em projetos de Engenharia, Software e Tecnologia, trabalha na Radix Engenharia desde 2016 atuando como Gerente de Projetos. Teve como principais clientes Petrobras, ONS e Light.

### (4) WAGNER LUIZ ORTIZ MARQUES

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Estácio de Sá(2010). Atualmente é Coordenador de manutenção e operação de AT da LIGHT Serviços de Eletricidade. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência.

### (5) MARCOS PAULO BARCELLOS DE MORAIS

Possui mestrado profissional em Engenharia de Produção (2016) e Graduação de Engenharia Elétrica pela Universidade Federal Fluminense, Especialização em Sistemas de Potência pela COPPE/UFRJ. Coordenador de Expansão de Rede, Engenheiro de Campo Sênior de Alta Tensão na Light, atuação na Manutenção de Equipamentos de Alta Tensão da Light. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica em comissionamento de Equipamentos de Alta Tensão, Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento e aplicação de Inteligência Artificial em Manutenção e Projetos com ênfase em Sistemas de Potência abrangendo Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica.

### (6) MARCIO ROMERO GALARDO JUNIOR

Márcio Romero Galardo Junior – Engenheiro Mecânico, com mestrado em Engenharia Metalúrgica (Soldagem) ambos pela UFF, curso de aperfeiçoamento em Sistemas Elétricos - Geração na COPPE/ UFRJ e MBA em Gerenciamento de Projetos no IBMEC . Possui experiência na área de geração de energia, sendo responsável técnico de usina hidrelétrica. Possui atuação em projetos de usinas hidrelétrica, eólica e solar. Possui conhecimento em ensaios e comissionamento em equipamentos eletromecânicos. Atuou como responsável por projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) e estágio em Siderúrgica.

(7) RÔMULO DE OLIVEIRA TEIXEIRA

Meu nome é Rômulo, sou casado, formado em Engenharia Elétrica na Universidade Severino Sombra (hoje Universidade de Vassouras) em 2010, possuo MBA em Gestão de Pessoas pela Centro Universitário de Volta Redonda (Unifoa) em 2012, Pós graduado em Sistema Elétricos da Geração pela COPPE/ UFRJ em 2014. Atuo como Engenheiro de Campo na área de Geração, Subestações e Linhas de Transmissão na Light Energia SA desde 2011, onde já exerci a função de Eletromecânico de Usinas e Subestações Especializado (2007 até 2010) e também Técnico de Campo na área de Geração, Subestações e Linhas de Transmissão (2010 até 2011).

(8) CARLOS AUGUSTO MACHADO GOMES

Carlos Augusto Machado Gomes - Engenheiro eletricista, com mestrado em Engenharia Elétrica pela UFRJ. Possui experiência na área de projetos focados para os setores de distribuição e geração. Atua na área de pesquisa e desenvolvimento da Light desde 2018, dando suporte técnico aos projetos de P&D ANEEL desenvolvidos pela companhia.