

A MODERNIZAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA COMO UM DOS DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA A INDÚSTRIA DE ENERGIA ELÉTRICA

TEIXEIRA, Tiago Silva¹

FORTE, Luiz Antonio²

RESUMO

A modernização dos sistemas elétricos de potência é um tema de grande importância para a indústria de energia elétrica, pois aprimorar a eficiência, confiabilidade e segurança desses sistemas é essencial para atender às demandas crescentes de energia em todo o mundo. Diante disso este trabalho tem o objetivo geral de demonstrar os desafios e oportunidades que há na modernização de sistemas elétricos de potência na indústria de energia elétrica. Os objetivos específicos são entender e apresentar os principais desafios para a modernização do sistema elétrico de potência nacional; apresentar as oportunidades existentes nessa demanda por modernização e descrever como isso pode afetar a indústria de energia elétrica brasileira. A metodologia utilizada foi de revisão da literatura. Os resultados demonstram que a modernização pode ajudar a reduzir os custos operacionais e melhorar a qualidade do serviço oferecido aos clientes. No entanto, essa modernização apresenta desafios técnicos, regulatórios e financeiros, bem como oportunidades para empresas que desejam inovar e se destacar no mercado. Conclui-se que é crucial discutir e explorar soluções que possam tornar a modernização dos sistemas elétricos de potência uma realidade viável e benéfica para todos os envolvidos na indústria de energia elétrica.

Palavras-chave: Indústria de energia elétrica. Modernização. Desafios. Oportunidades.

1 INTRODUÇÃO

O setor de eletricidade está enfrentando novas expectativas e requisitos significativos para substituir a infraestrutura antiga, mitigar os efeitos de tempestades e outros eventos perturbadores, proteger o sistema elétrico e a infraestrutura crítica que depende de energia elétrica contra ataques cibernéticos e físicos e manter a estabilidade do sistema (ROBBA, 2020).

Ao mesmo tempo, a indústria está lidando com a retirada do carvão e parte da

¹Graduando em Engenharia de Produção pelo Centro Universitário UNINTER.

² Graduado em Engenharia Ambiental pela UTP e pós-graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho pela UTFPR.

geração termelétrica e a integração de recursos renováveis e distribuídos variáveis em grande escala. Além disso, os atuais modelos de negócios de serviços públicos geralmente dependem de aumentos volumétricos nas vendas para fornecer fundos para novos investimentos (ZIRR, 2020).

Por outro lado, desenvolver e implantar tecnologias de energia cada vez mais limpas e econômicas exigirá um setor de energia elétrica com sistemas, regulamentação e infraestrutura que incentivem e acomodem essas tecnologias. O desenvolvimento desse setor de energia exigirá, por sua vez, mudanças tecnológicas no sistema de energia e mudanças fundamentais na regulamentação e operação das concessionárias de energia elétrica (PHILIPPI JR; REIS, 2016).

Os sistemas de energia – as redes de transmissão e distribuição de energia elétrica – precisarão se tornar capazes de integrar novas tecnologias e em maior quantidade. Para atingir esse objetivo, os reguladores precisarão implementar regulamentos que incentivem as concessionárias a se envolverem totalmente na inovação e na demonstração de novas tecnologias, com regras que permitam acesso razoável e não discriminatório aos sistemas de transmissão e entrega (ZIRR, 2020).

Acrescenta-se a isso o fato de que o sistema de energia elétrica do Brasil fornece eletricidade confiável há quase um século, mas grande parte da rede elétrica atual foi projetada e construída décadas atrás usando modelos de projeto de sistema e princípios organizacionais que devem ser reestruturados para atender às necessidades de um sistema de baixo carbono, economia digital (AYRES; AYRES, 2012). Assim, a pergunta que se pretende responder é: quais os desafios e oportunidades que há na modernização de sistemas elétricos de potência na indústria de energia elétrica?

Tendo isso como base para a realização deste trabalho apresenta-se que o objetivo geral é demonstrar os desafios e oportunidades que há na modernização de sistemas elétricos de potência na indústria de energia elétrica. Os objetivos específicos são (i) entender e apresentar os principais desafios para a modernização do sistema elétrico de potência nacional; (ii) apresentar as oportunidades existentes nessa demanda por modernização e (iii) descrever como isso pode afetar a indústria de energia elétrica brasileira.

Para a Engenharia de Produção, entender os desafios e oportunidades da modernização de sistemas elétricos de potência é fundamental para o

desenvolvimento de soluções mais eficientes e sustentáveis para a produção industrial. Além do que a modernização desses sistemas pode impactar diretamente a qualidade e produtividade das operações, além de influenciar no custo final dos produtos, fatos esses que justificam a realização desta pesquisa.

O documento é estruturado em cinco seções, já com a inclusão da seção de Introdução apresentada. A seção 2 contém a fundamentação teórica. A seção 3 contém a metodologia aplicada ao desenvolvimento do projeto. A seção 4 apresenta os resultados e a seção 5 as considerações finais.

2 ATUAL SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA BRASILEIRO

Grande parte da infraestrutura de energia elétrica existente no Brasil foi construída há mais de 40 anos e precisa ser substituída e modernizada. Estimou-se em 2011 que a manutenção dessa infraestrutura exigiria US\$ 673 bilhões em novos investimentos até 2020, o que não aconteceu (ROBBA, 2020).

As concessionárias de energia elétrica experimentaram um número crescente de interrupções e essas interrupções custam à economia brasileira entre US\$ 25 bilhões e US\$ 70 bilhões por ano (ZIRR, 2020). Esses custos podem aumentar com o aumento da dependência de sistemas de informação e comunicação, bem como de dispositivos digitais e tecnologias de controle que dependem do acesso a fontes confiáveis de eletricidade (PHILIPPI JR; REIS, 2016).

Os custos também podem aumentar com o aumento evidente na frequência de eventos climáticos severos. Uma queda de energia pode impactar a economia de uma região inteira, como ocorreu no estado do Amapá em 2020. Essas interrupções deixaram as bombas de combustível nos postos de gasolina sem funcionar e reduziram a operação do comércio, afetaram hospitais, escolas e toda uma população (GOMES, 2022).

O alto custo das interrupções de energia para os consumidores é evidente pelo número crescente de clientes que instalaram seus próprios meios de *backup* de geração de energia.

2.1 PROBLEMAS ATUAIS DO SISTEMA DE ENERGIA ELÉTRICA

Mudanças fundamentais na geração e uso de eletricidade estão exigindo que o sistema elétrico funcione de maneiras para as quais não foi projetado – exigindo novos recursos e projetos de sistema para manter níveis históricos de confiabilidade. O tempo todo, o sistema está sendo solicitado a funcionar de maneiras e em um contexto para o qual não foi projetado. O resultado é um sistema que está sob crescente estresse por esses e outros fatores e requer muito mais flexibilidade, agilidade e capacidade de otimizar dinamicamente as operações da rede em prazos muito rápidos para operadores humanos (PHILIPPI JR; REIS, 2016).

Avanços fundamentais no sistema de energia são necessários para lidar com essas mudanças e garantir a confiabilidade do sistema. O apagão de Macapá em 2021, por exemplo, foi o resultado de uma falha em cascata que ocorreu em segundos, mas o fator demora em entender a real gravidade do problema foi mais danoso ainda (REIS, 2017).

Essas mudanças fundamentais, no entanto, também abrem um conjunto de oportunidades que podem ser aproveitadas para melhorar significativamente o desempenho, reduzir custos e enfrentar nossos desafios nacionais de energia (ROBBA *et al.*, 2020).

Uma crescente dependência da eletricidade apresenta desafios significativos para as concessionárias, tomadores de decisão em nível estadual e outras partes interessadas, que devem melhorar a confiabilidade e a resiliência enquanto gerenciam com economia as mudanças fundamentais necessárias para atender às necessidades de uma economia digital de baixo carbono. Atualmente, o sistema elétrico de energia está passando por mudanças significativas nas fontes das quais dependemos para gerar eletricidade, nos meios pelos quais recebemos eletricidade e até na forma como consumimos eletricidade (ZIRR, 2020).

2.2 PREOCUPAÇÕES COM SEGURANÇA

As concessionárias de energia elétrica também foram colocadas na linha de frente na defesa do sistema de energia contra segurança cibernética e ataques físicos. A maioria dos especialistas concorda que o risco de um ataque significativo

ao sistema de energia é significativo e suas consequências podem ser grandes (PHILIPPI JR; REIS, 2016).

A falta de consciência dos operadores e a falha resultante em retornar o sistema a um estado confiável ajudaram a criar condições nas quais os contatos das árvores com as linhas de transmissão acabariam por desencadear a interrupção (ROBBA, 2020).

Um ataque cibernético em grande escala ou um ataque físico e cibernético combinado poderia ter custos altos, provocando interrupções de energia contínuas em grandes porções da rede elétrica e interrupções prolongadas nas comunicações, no abastecimento de alimentos e água e na prestação de cuidados de saúde. Os requisitos de investimento associados ao rastreamento e mitigação dos riscos de segurança são substanciais e aumentarão à medida que a compreensão desses riscos continuar a evoluir (ZIRR, 2020).

2.3 CRESCIMENTO SIGNIFICATIVO NA CAPACIDADE DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E VARIÁVEL

As concessionárias estão vendo um crescimento significativo na geração distribuída localizada no cliente. A energia fotovoltaica tem atraído diversos consumidores e atualmente ocupa a 3ª maior fonte dentro da matriz energética brasileira. A geração distribuída impõe novos requisitos de investimento, controle e proteção em sistemas de distribuição que historicamente foram projetados para fluxo de energia unidirecional para os clientes (ROBBA, 2020).

Além da geração distribuída, as adições de capacidade total de energia solar (que inclui telhado solar fotovoltaico, utilitário fotovoltaico e solar térmico) e eólica adicionaram tem penetrado de forma constante no *grid* de transmissão (ZIRR, 2020). Essas adições à capacidade são impulsionadas em parte por políticas públicas e projetos de tarifas de serviços públicos que recuperam uma parte dos custos fixos por meio de cobranças de quilowatt-hora (kWh).

Desenvolver e implantar tecnologias de energia cada vez mais limpas e econômicas exigirá um setor de energia elétrica com sistemas, regulamentação e infraestrutura que incentivem e acomodem essas tecnologias. O desenvolvimento desse setor de energia exigirá, por sua vez, mudanças tecnológicas no sistema de

energia e mudanças fundamentais na regulamentação e operação das concessionárias de energia elétrica. Os sistemas de energia – as redes de transmissão e distribuição de energia elétrica – precisarão se tornar capazes de integrar novas tecnologias e em maior quantidade. Para atingir esse objetivo, os reguladores precisarão implementar regulamentos que incentivem as concessionárias a se envolverem totalmente na inovação e na demonstração de novas tecnologias, com regras que permitam acesso razoável e não discriminatório aos sistemas de transmissão e entrega (BALDAM, 2016).

Desde as atividades de reestruturação que começaram em vários estados na década de 1990, o setor de energia elétrica tem sofrido pressões para mudar de várias maneiras. Embora os esforços de reestruturação tenham parado no início dos anos 2000, vários estados promulgaram políticas para incentivar taxas mais altas de adoção de tecnologias específicas de geração de energia cada vez mais limpa, principalmente para eletricidade de fontes renováveis (REIS, 2017).

O crescimento dos recursos energéticos renováveis e distribuídos, a expansão dos programas de eficiência energética, o crescimento lento ou o declínio das vendas de serviços públicos, os baixos preços do gás natural e a necessidade de investir na rede para manter sua confiabilidade e segurança levaram à consideração das mudanças significativas em modelos técnicos, comerciais e regulatórios de serviços públicos necessários para facilitar a adoção em larga escala de tecnologias de energia cada vez mais limpas. No entanto, a indústria está nos estágios iniciais de avaliação dessas mudanças (ROSA, 2015).

Os investidores não financiarão o desenvolvimento de tecnologias cada vez mais limpas sem uma oportunidade realista de conquistar participação de mercado e obter lucros financeiros à medida que essas opções se tornam econômicas.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho busca realizar uma análise sobre os desafios e oportunidades da modernização de sistemas elétricos de potência. Como estratégia de investigação, optou-se por uma abordagem de caráter qualitativa bibliográfica e documental. Como procedimento de pesquisa, utilizou-se os processos metodológicos de Creswell (2010), onde foi definido o presente trabalho como uma

produção do tipo de pesquisa bibliográfica de caráter qualitativa, envolvendo a coleta de dados fundamentando-se em um estudo documental.

Os documentos e artigos eletrônicos utilizados para a produção deste trabalho, serão colhidos nos bancos de dados da *Scientific Electronic Library Online* (SciELO) e no *The Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), a partir da série de palavras-chave utilizadas para a busca de materiais para a produção deste trabalho (Sistema elétrico de potência; modernização; em português e inglês).

Como estratégia de busca, serão utilizadas ferramentas de filtro disponibilizadas pelos sites, onde é possível definir o ano de publicação dos documentos (2011-2022), o tipo de artigo (pesquisa ou revisão), tipos de documentos (revistas eletrônicas, artigos e livros), e ordenação (relevância). Logo depois a filtragem, deverá ser realizada uma segunda análise sobre os documentos, atentando-se a documentos que possuíam pouca similaridade com o tema (possivelmente filtrados de maneira incorreta e passando despercebidos), ou alguns poucos artigos de língua estrangeira que passam despercebidos pelo sistema de filtragem.

No final das buscas, deverá ser realizada a leitura dos documentos e artigos encontrados para a produção deste trabalho, fundamentando-se na proposta metodológica escolhida para a produção deste trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA A INDÚSTRIA DE ENERGIA ELÉTRICA

O setor de eletricidade está enfrentando novas expectativas e requisitos significativos para substituir a infraestrutura antiga, mitigar os efeitos de tempestades e outros eventos perturbadores, proteger o sistema elétrico e a infraestrutura crítica que depende de energia elétrica contra ataques cibernéticos e físicos e manter a estabilidade do sistema (REIS, 2017).

Ao mesmo tempo, a indústria está lidando com a retirada do carvão e parte da geração nuclear e a integração de recursos renováveis e distribuídos variáveis em grande escala. Além disso, os atuais modelos de negócios de serviços públicos

geralmente dependem de aumentos volumétricos nas vendas para fornecer fundos para novos investimentos. Com vendas crescendo ou diminuindo lentamente, muitas concessionárias carecem do crescimento de receita usado historicamente para financiar novos investimentos. Essa tendência pode deixar o país com um sistema de energia desatualizado e custar caro aos consumidores.

4.2 AUMENTANDO OS PROBLEMAS DE CONFIABILIDADE E INTERRUPÇÕES

Um dos principais problemas enfrentados pelos sistemas elétricos de potência é a confiabilidade. Isso significa que é necessário garantir que a energia elétrica seja fornecida de forma contínua e segura, sem interrupções ou quedas de tensão que possam afetar a qualidade do serviço ou a segurança das pessoas. Infelizmente, os sistemas elétricos de potência são frequentemente afetados por falhas em equipamentos, tempestades, eventos climáticos extremos, entre outros fatores, que podem causar interrupções no fornecimento de energia elétrica.

Essas interrupções são um problema significativo para a indústria de energia elétrica, uma vez que podem levar a perdas financeiras, danos a equipamentos, inconveniência para os clientes e riscos à segurança pública. Além disso, as interrupções podem afetar a imagem das empresas de energia elétrica, levando à perda de clientes e à falta de confiança do público em relação à qualidade do serviço (REIS, 2017).

As concessionárias de energia elétrica experimentaram um número crescente de interrupções relacionadas ao clima de 1992 a 2012. Essas interrupções custam à economia entre US\$ 25 bilhões e US\$ 70 bilhões por ano. Esses custos podem aumentar com o aumento da dependência de sistemas de informação e comunicação, bem como de dispositivos digitais e tecnologias de controle que dependem do acesso a fontes confiáveis de eletricidade (ROSA, 2015).

Para enfrentar esse desafio, é necessário investir em tecnologias e sistemas que permitam a detecção precoce de problemas e a realização de manutenções preventivas. Além disso, é preciso desenvolver sistemas de gestão de energia elétrica que permitam uma rápida identificação de problemas e intervenções para solucioná-los. A modernização dos sistemas de comunicação e controle também é essencial para permitir uma operação mais eficiente e integrada dos sistemas

elétricos de potência (ZIRR, 2020).

Outro desafio relacionado à confiabilidade é a necessidade de investir em sistemas de armazenamento de energia elétrica. A falta de armazenamento de energia elétrica torna os sistemas elétricos de potência mais vulneráveis a interrupções, já que não há capacidade para armazenar energia para uso posterior. A modernização dos sistemas de armazenamento de energia elétrica é fundamental para garantir a disponibilidade de energia elétrica de forma contínua e confiável (REIS, 2017).

Os custos também podem aumentar com o aumento evidente na frequência de eventos climáticos severos. Uma queda de energia pode impactar a economia de uma região inteira, como ocasionalmente ocorre na Região Sul em função de intempéries meteorológicas. Essas interrupções deixaram as bombas de combustível nos postos de gasolina sem funcionar e reduziram a operação de indústrias e portos. O alto custo das interrupções de energia para os consumidores é evidente pelo número crescente de clientes que instalaram seus próprios meios de *backup* de geração de energia.

Os problemas de confiabilidade e interrupções são desafios significativos para a modernização dos sistemas elétricos de potência. É necessário investir em tecnologias e sistemas que permitam a detecção precoce de problemas, intervenções rápidas para solucioná-los e a implementação de sistemas de armazenamento de energia elétrica. A modernização dos sistemas elétricos de potência é um investimento necessário para garantir a disponibilidade de energia elétrica de forma contínua e segura, contribuindo para o desenvolvimento econômico e social do país (ROSA, 2015).

4.3 PREOCUPAÇÕES COM SEGURANÇA

As concessionárias de energia elétrica também foram colocadas na linha de frente na defesa do sistema de energia contra segurança cibernética e ataques físicos. A maioria dos especialistas concorda que o risco de um ataque significativo ao sistema de energia é significativo e suas consequências podem ser.

A falta de consciência dos operadores e a falha resultante em retornar o sistema a um estado confiável ajudaram a criar condições nas quais os contatos das

árvores com as linhas de transmissão acabariam por desencadear a interrupção. Os requisitos de investimento associados ao rastreamento e mitigação dos riscos de segurança são substanciais e aumentarão à medida que a compreensão desses riscos continuar a evoluir (ROSA, 2015).

4.4 CRESCIMENTO SIGNIFICATIVO NA CAPACIDADE DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E VARIÁVEL

As concessionárias estão vendo um crescimento significativo na geração distribuída localizada no cliente. A combinação de calor e energia atingiu uma escala significativa. Um adicional de 870 megawatts (MW) de geração foi adicionado em 2020, com um aumento adicional estimado para ter ocorrido em 2021 e 2022 (BRASIL, 2022). A geração distribuída impõe novos requisitos de investimento, controle e proteção em sistemas de distribuição que historicamente foram projetados para fluxo de energia unidirecional para os clientes (ZIRR, 2020).

Além da geração distribuída, as adições de capacidade total de energia solar (que inclui telhado solar fotovoltaico, utilitário fotovoltaico e solar térmico) e eólica adicionaram quase 10.000 MW de corrente alternada em 2022, representando 27% e 26% das adições de capacidade de geração de eletricidade no Brasil naquele ano. Essas adições à capacidade são impulsionadas em parte por políticas públicas e projetos de tarifas de serviços públicos que recuperam uma parte dos custos fixos por meio de cobranças de quilowatt-hora (kWh) (BRASIL, 2023).

A recuperação da capacidade eólica em 2014 provavelmente foi impulsionada pelas extensões e modificações do crédito fiscal de produção. Em 2003, os recursos renováveis, exceto hidrelétricos, representaram menos de 1% da capacidade de geração de energia do Brasil; em 2022, essas fontes – principalmente por meio do crescimento da energia eólica e solar – representavam mais de 9,6% da capacidade de geração (BRASIL, 2023).

Recursos variáveis criam desafios significativos de integração e investimento. Tais mudanças rápidas na demanda líquida teriam que ser compensadas por adições significativas à capacidade flexível de geração, armazenamento ou demanda responsiva (BRASIL, 2022). Além disso, uma futura rede elétrica deve ser construída para acomodar mudanças contínuas na geração eólica e solar, à medida

que a velocidade do vento muda e as nuvens passam por cima (BRASIL, 2023).

4.5 MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA

A modernização dos sistemas elétricos de potência é um tema cada vez mais relevante para a indústria de energia elétrica, uma vez que o mundo enfrenta crescentes desafios de demanda de energia, mudanças climáticas e necessidade de redução de custos operacionais. No entanto, essa modernização apresenta desafios e oportunidades únicas. A arquitetura tradicional foi baseada em geração em larga escala localizada remotamente dos consumidores, estruturas de controle hierárquico com *feedback* mínimo, armazenamento de energia limitado e cargas passivas (REIS, 2017).

Esse sistema tradicional não foi projetado para atender a muitas tendências emergentes, como maior adoção de fontes de geração de inércia relativamente baixa, penetração crescente de recursos de geração distribuída e necessidade de maior resiliência.

Conforme descrito em vários estudos recentes, uma rede moderna deve ser mais flexível, robusta e ágil (ZIRR, 2020). Ela deve ter a capacidade de otimizar dinamicamente as operações e os recursos da rede, detectar e mitigar rapidamente distúrbios, integrar diversas fontes de geração (tanto no fornecimento quanto lado da demanda), integrar recursos de resposta à demanda e eficiência energética, permitem que os consumidores gerenciem seu uso de eletricidade e participem de mercados e forneçam forte proteção contra riscos físicos e cibernéticos (REIS, 2017). Esses recursos devem ser incorporados à medida que a rede elétrica faz a transição do design tradicional ao desenho do futuro.

Um dos principais desafios é a complexidade técnica envolvida na modernização. Muitos sistemas elétricos de potência têm décadas de idade e foram projetados para atender a uma demanda de energia muito diferente da atual. A modernização exige um alto grau de habilidade e conhecimento técnico, além de investimentos significativos em tecnologia de ponta. A falta de investimentos adequados pode levar a problemas de confiabilidade e segurança, o que pode afetar negativamente a qualidade do serviço oferecido aos clientes.

Além disso, há desafios regulatórios e financeiros envolvidos na

modernização dos sistemas elétricos de potência. A maioria dos sistemas elétricos é regulada por órgãos governamentais que precisam aprovar os investimentos necessários para a modernização. Os custos de modernização também podem ser significativos, o que pode levar a um aumento nas tarifas de energia para os consumidores. Portanto, é necessário equilibrar os benefícios da modernização com os custos associados a ela (ROSA, 2015).

No entanto, a modernização dos sistemas elétricos de potência também apresenta oportunidades significativas para a indústria de energia elétrica. Por exemplo, a modernização pode aumentar a eficiência energética, o que pode reduzir os custos operacionais e melhorar a qualidade do serviço. A modernização também pode permitir a integração de fontes de energia renovável, como a energia solar e eólica, o que pode ajudar a reduzir as emissões de carbono e promover a sustentabilidade.

Além disso, a modernização pode levar a oportunidades de inovação e diferenciação no mercado. As empresas que investem em tecnologias de ponta podem se destacar no mercado, atrair novos clientes e aumentar sua participação de mercado. Além disso, a modernização pode melhorar a segurança e a confiabilidade dos sistemas elétricos de potência, o que pode ser um fator importante na escolha dos clientes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo geral demonstrar os desafios e oportunidades que há na modernização de sistemas elétricos de potência na indústria de energia elétrica. Os objetivos específicos foram entender e apresentar os principais desafios para a modernização do sistema elétrico de potência nacional; apresentar as oportunidades existentes nessa demanda por modernização e descrever como isso pode afetar a indústria de energia elétrica brasileira.

Em relação à problematização apresentada na introdução, pode-se afirmar que os desafios e oportunidades da modernização de sistemas elétricos de potência na indústria de energia elétrica foram confirmados. A partir da análise dos resultados apresentados na seção de resultados e discussões, identificou-se que a modernização de sistemas elétricos de potência é fundamental para melhorar a

eficiência energética e reduzir as perdas no sistema. No entanto, a modernização enfrenta desafios como o alto custo de investimento e a necessidade de capacitação dos profissionais envolvidos.

Em relação aos objetivos geral e específicos, aponta-se que foram alcançados. Este estudo possibilitou entender e apresentar os principais desafios para a modernização do sistema elétrico de potência nacional, apresentar as oportunidades existentes nessa demanda por modernização e descrever como isso pode afetar a indústria de energia elétrica brasileira.

A metodologia utilizada foi adequada para o tipo de pesquisa escolhido. A pesquisa bibliográfica e a análise de documentos técnicos e normativos permitiram a compreensão dos desafios e oportunidades da modernização de sistemas elétricos de potência na indústria de energia elétrica. Em relação à bibliografia utilizada, essa correspondeu às expectativas. As fontes consultadas foram confiáveis e atualizadas, o que permitiu a produção de um trabalho consistente e de qualidade.

Por fim, sugere-se novas possibilidades de pesquisa que possam aprimorar o tema estudado, como a análise de tecnologias emergentes para modernização de sistemas elétricos de potência e a investigação do impacto da modernização na segurança e confiabilidade do sistema elétrico.

Diante do tema, após a pesquisa, o autor posiciona-se que a modernização de sistemas elétricos de potência é um desafio importante para a indústria de energia elétrica brasileira. É fundamental que as empresas invistam em tecnologias mais modernas e eficientes para melhorar a qualidade do serviço prestado e reduzir as perdas no sistema. Além disso, é necessário capacitar os profissionais envolvidos para que possam atuar de forma eficiente e segura na operação desses sistemas.

REFERÊNCIAS

AYRES, Robert U.; AYRES Edward H. **Cruzando a fronteira da energia**: dos combustíveis fósseis para um futuro de energia limpa. Tradução: André de Godoy Vieira. Porto Alegre: Bookman, 2012.

BALDAM, Roquemar. **Economia da energia**: fundamentos econômicos, evolução histórica e organização industrial. 2ª edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

BRASIL. **Balço Energético Nacional 2022**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>. Acesso em 21 mar. 2023.

BRASIL. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2023**. Ministério de Minas e Energia, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-47/topico-85/Relat%C3%B3rio%20Final%20do%20PDE%202023.pdf>. Acesso em 21 mar. 2023.

CRESWELL, J. W. **Projeto de Pesquisa: Métodos qualitativos, quantitativo e misto**. Tradução: Magda França Lopes. 3ª. ed. Porto Alegre: Artmed. 2010.

GOMES, Patrícia Sousa. **Crise de imagem enfrentada pelo setor elétrico brasileiro em 2020 após apagão ocorrido no estado do Amapá: diagnóstico e estratégias**. Dissertação [Mestrado]. Universidade do Porto. Porto: UP, 2022. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/144699/2/588449.pdf>. Acesso em 18 jan. 2023.

PHILIPPI JR, Arlindo; REIS, Lineu Belico dos. **Energia e sustentabilidade**. Barueri, SP: Manole, 2016.

REIS, Lineu Belico dos. **Geração de energia elétrica**. 3. ed. rev., ampl. e atual. – Barueri: Manole, 2017.

ROBBA, Ernesto João et al. **Análise de sistemas de transmissão de energia elétrica**. São Paulo: Blucher, 2020.

ROSA, Aldo Vieira da. **Processos de energias renováveis**. 3. ed. - Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

ZIRR, Guilherme. **Gestão de custo de energia**. Curitiba: Contentus, 2020.