

## ELABORAÇÃO DE PROJETO DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

*PEDRO, Evandro José Pereira<sup>1</sup>*  
*Centro Universitário Academia — UniAcademia*  
*NOGUEIRA, Fernando José<sup>2</sup>*  
*Centro Universitário Academia — UniAcademia*

Linha de pesquisa: Sistemas de Energia Elétrica

### RESUMO

Devido à crescente demanda por energia elétrica, o setor está em constante expansão, o que ressalta a importância de melhorar continuamente a qualidade da rede de distribuição. Nesse contexto, torna-se necessário desenvolver projetos sólidos, obedecendo às normas pré-estabelecidas e empregando cálculos meticulosamente estruturados. Com essa proposta, o objetivo deste trabalho é elucidar o processo de elaboração de projetos para redes de distribuição elétrica, delineando as etapas a serem seguidas. O documento abrange análises derivadas de levantamentos topográficos, normas essenciais na concepção de projetos elétricos, bem como as tabelas e softwares adotados pela Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig). Além disso, apresenta um breve panorama das situações cotidianas enfrentadas pelos projetistas de redes de distribuição elétrica. Fundamentado na experiência adquirida na área, o trabalho compila dicas e orientações derivadas do dia a dia do autor, alinhadas com as normas determinadas pela Cemig. Seu objetivo é orientar não apenas novos projetistas, mas também aqueles que estão no início de suas carreiras.

**Palavras-chave:** Elaboração de Projetos. Energia Elétrica. Rede de Distribuição. Cemig.

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário Academia — UniAcademia.

<sup>2</sup> Professor do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Academia — UniAcademia.

## 1 INTRODUÇÃO

A elaboração de projetos de rede de distribuição de energia elétrica representa um elemento fundamental no âmbito da engenharia elétrica e da gestão de sistemas de energia. Esta área de estudo desempenha um papel crucial na garantia de que a eletricidade, um recurso essencial para o funcionamento da sociedade moderna, seja entregue de forma eficiente e confiável aos consumidores finais. A confiabilidade e a eficiência dessas redes são cruciais para o funcionamento de setores vitais, como indústria, comércio e serviços, bem como para o conforto e a segurança das residências.

Neste trabalho, será realizado em uma análise da elaboração de projetos de rede de distribuição de energia elétrica. Serão explorados os princípios essenciais que norteiam essa disciplina, serão examinados os desafios intrínsecos à concepção e implementação de sistemas de distribuição de energia, bem como as inovações e tendências contemporâneas que estão moldando esse campo. Durante esta jornada, será explanada minuciosamente as etapas críticas envolvidas na criação de uma rede de distribuição elétrica eficaz, desde a fase inicial de planejamento até a operação e manutenção contínuas.

Por meio de análises de estudos de caso, revisão da literatura e debate de melhores práticas, este trabalho visa fornecer uma compreensão do tema e destacar a sua relevância para o desenvolvimento sustentável e a resiliência do sistema elétrico. Será abordado também a importância do projetista no processo de elaboração de projetos de rede, mostrando que o projetista desempenha um papel crítico na concepção e execução de projetos de rede de distribuição de energia elétrica. Sua experiência e conhecimento garantem que a infraestrutura elétrica seja dimensionada e operada de maneira eficaz, segura e sustentável, atendendo às necessidades presentes e futuras da sociedade e da indústria. Serão mostrados alguns conceitos importantes que serão de primordial importância para a elaboração de projetos de rede, bem como sugestões e direcionar o projetista iniciante a realizar a elaboração de um projeto de rede de distribuição. Ao final deste trabalho, espera-se contribuir para o aprimoramento do conhecimento sobre essa área crítica, que

desempenha um papel vital na infraestrutura moderna e na qualidade de vida das comunidades.

## **2 EVOLUÇÃO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO**

O setor elétrico brasileiro passou por transformações significativas nas últimas décadas, com a privatização das empresas estatais na década de 1990 e a mudança na matriz energética, dentre outras mudanças. De acordo com Goldemberg *et al.* (2018), a privatização do setor permitiu um aumento na eficiência das empresas e na oferta de energia elétrica, além de ter atraído investimentos privados para o setor, trazendo um aumento na qualidade dos serviços prestados aos consumidores. Esse processo de privatização foi iniciado em 1995, com a venda das distribuidoras estaduais de energia, seguido pela privatização da Eletrobras, maior empresa do setor, em 2018.

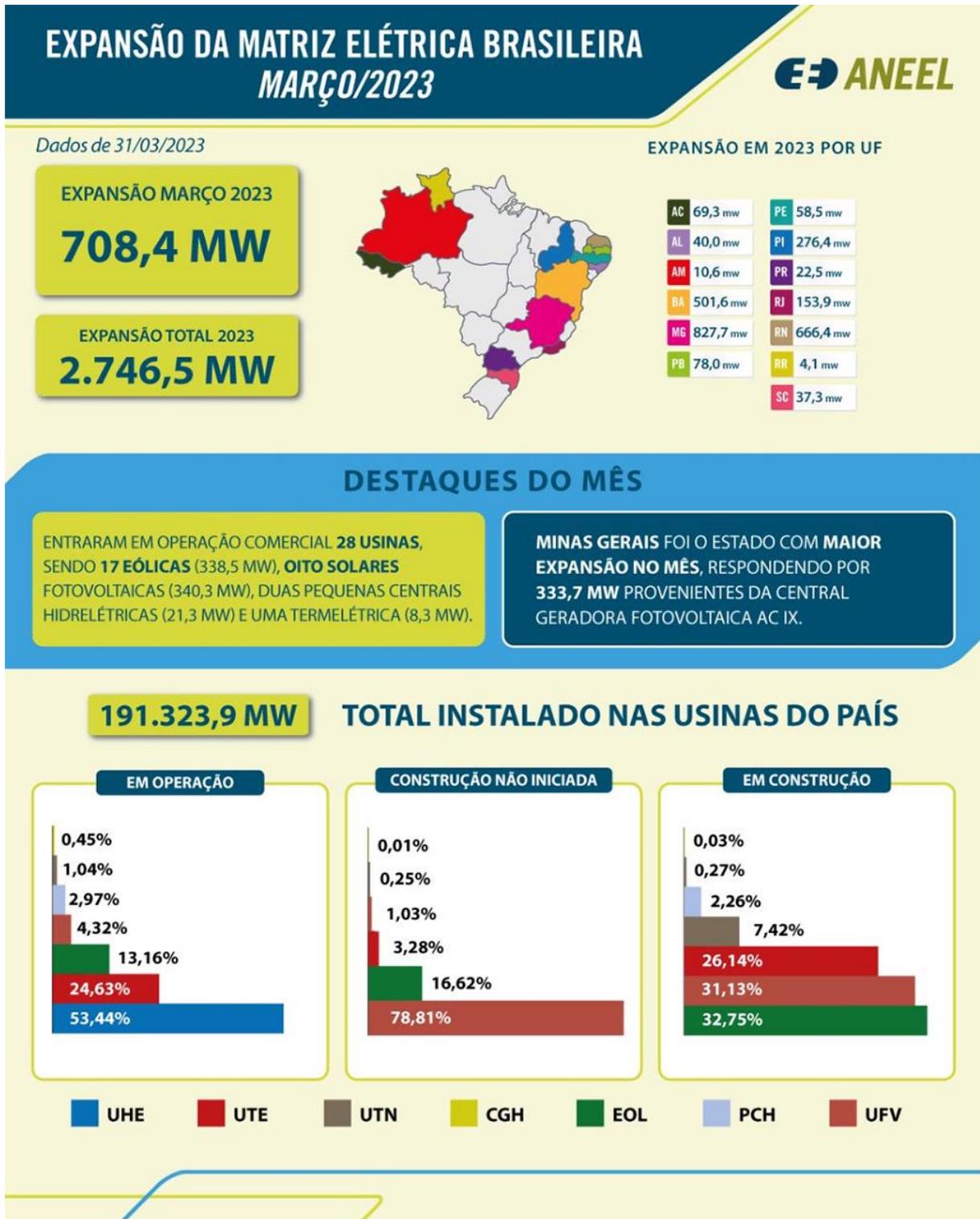
Outra mudança importante no setor elétrico brasileiro é a crescente participação de fontes renováveis de energia. Segundo o Ministério de Minas e Energia (2020) a participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira cresceu de 45,5 % em 2009 para 47,5 % em 2019. O relatório destaca também o papel crescente da energia solar e eólica no país.

Segundo o último balanço da ANEEL o primeiro trimestre de 2023, a matriz elétrica contou com uma expansão de 2.746,5 megawatts (MW) – o dobro dos 1.367 MW verificados no mesmo período de 2022 (Figura 1).

Segundo a ANEEL (2023), houve o registro de 82 usinas entrando em operação comercial, das quais 44 são eólicas (1.485 MW), 23 são solares fotovoltaicas (920,2 MW) e 10 são térmicas (278,1 megawatts), quatro pequenas centrais hidrelétricas (59,8 MW) e uma hidrelétrica (3,4 MW). Combinadas, as usinas solar e eólica representaram 87,6 % da capacidade instalada naquele ano.

Apesar dessas mudanças positivas, ainda existem desafios a serem enfrentados pelo setor elétrico brasileiro. De acordo com Silva (2019), há necessidade constante de modernização da infraestrutura de transmissão e distribuição de energia elétrica, além da redução do preço da energia elétrica para os consumidores.

**Figura 1:** Expansão da matriz elétrica brasileira.



Fonte: Sistema Ocepar, 2023.

## 2.1 DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

A distribuição de energia elétrica é um fator primordial para o desenvolvimento de um país, uma vez que, são envolvidos os setores econômico, social e ambiental.

Um dos primeiros estudos sobre a distribuição de energia elétrica no Brasil foi realizado por Barros (1971), que analisou a evolução do setor elétrico no país até o final da década de 1960. O autor destaca a importância das empresas estatais na expansão da oferta de energia elétrica e ressaltou a necessidade de uma política nacional para o setor.

Mais recentemente, Costa (2006) realizou uma análise da regulação da distribuição de energia elétrica no Brasil, ele destaca as mudanças ocorridas com a privatização das empresas distribuidoras. O autor aponta que a regulação é um fator determinante na qualidade dos serviços prestados pelas empresas que a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) tem um papel fundamental nesse processo.

Outro aspecto importante da distribuição de energia elétrica no Brasil é a questão da universalização do acesso. Desse modo, Silva *et al.* (2019) realizaram um estudo sobre os desafios e oportunidades para a universalização do acesso à energia elétrica no país. Os autores destacam que, apesar dos avanços dos últimos anos, ainda existem desigualdades regionais e sociais que precisam ser superadas. Além disso, é importante destacar a questão da matriz energética brasileira.

Nesse sentido, Duarte *et al.* (2012) realizaram uma análise sobre a transição para uma matriz energética de baixo carbono no Brasil. Os autores destacaram a importância da distribuição de energia elétrica para o sucesso dessa transição e ressaltaram a necessidade de políticas públicas que incentivem a utilização de fontes renováveis de energia.

Vale salientar as questões dos impactos socioambientais da distribuição de energia elétrica no Brasil. Assim, Dias *et al.* (2017) realizaram uma análise dos conflitos socioambientais em torno da construção de linhas de transmissão de energia elétrica. Os autores apontaram a necessidade de um diálogo mais amplo entre os diferentes atores envolvidos, para minimizar os impactos negativos desses empreendimentos.

A distribuição de energia elétrica tem um impacto significativo no desenvolvimento econômico de um país. Segundo Bezerra *et al.* (2021), a oferta de energia elétrica é um fator determinante para a competitividade das empresas, influenciando diretamente na produtividade e nos custos de produção. Além disso, a distribuição de energia elétrica também contribui para a criação de novas oportunidades de negócios e empregos, especialmente nas regiões mais carentes do país. Além disso, a distribuição de energia elétrica também é importante para o desenvolvimento social do país. Segundo Souza *et al.* (2019), a energia elétrica é fundamental para a prestação de serviços essenciais, como saúde, educação e segurança pública. A distribuição de energia elétrica ainda contribui para o acesso a tecnologias, como internet e comunicações, fundamentais para a inclusão social e digital.

Outro aspecto relevante da distribuição de energia elétrica no Brasil é a sua importância para o meio ambiente. Segundo Machado *et al.* (2020), a utilização de fontes renováveis de energia elétrica, como a solar e a eólica, tem um impacto positivo na redução das emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas. Além disso, a utilização de fontes renováveis de energia também favorece a preservação dos recursos naturais, como a água e as florestas.

Não se pode deixar de destacar que a distribuição de energia elétrica no Brasil também tem um impacto positivo na qualidade de vida da população. Segundo Pereira *et al.* (2019), a energia elétrica é essencial para a melhoria das condições de moradia, saúde e lazer, contribuindo para o bem-estar social.

## 2.2 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

O consumo de energia elétrica é um aspecto importante da história da humanidade e do desenvolvimento tecnológico.

Conforme Gago *et al.* (2020), o consumo de energia elétrica tem aumentado constantemente nos últimos anos, em grande parte devido ao crescimento econômico e à melhoria da qualidade de vida das populações. No entanto, esse aumento também tem levado a preocupações ambientais, como o aumento das emissões de gases de efeito estufa.

Além disso, o consumo de energia elétrica também é influenciado por fatores como a regulação do setor elétrico, a oferta de tecnologias e produtos mais eficientes em termos energéticos e a mudança de comportamento dos consumidores. Segundo Basso *et al.* (2018), a adoção de medidas de eficiência energética, como a substituição de equipamentos eletrodomésticos por modelos mais eficientes, pode reduzir significativamente o consumo de energia elétrica.

No Brasil, a trajetória do consumo de energia elétrica é marcada por diversos momentos significativos. De acordo com Borba *et al.* (2018), o consumo de energia elétrica no Brasil iniciou-se no final do século XIX, quando foram criadas as primeiras empresas de iluminação pública. No entanto, foi somente na década de 1930 que o consumo de energia elétrica passou a se expandir para além das grandes cidades, impulsionado pela industrialização e pelo desenvolvimento do setor elétrico.

Ao longo das décadas seguintes, o consumo de energia elétrica no Brasil cresceu significativamente, impulsionado pelo aumento da demanda residencial e industrial. Conforme, Ribeiro *et al.* (2019), entre 1970 e 2015, o consumo de energia elétrica no Brasil cresceu mais de 500 %, acompanhando o desenvolvimento econômico do país.

Ademais, o consumo de energia elétrica também passou por transformações importantes ao longo do tempo. Nas últimas décadas, houve um aumento da demanda por fontes renováveis de energia elétrica, como a solar e a eólica, em detrimento das fontes fósseis, como o petróleo e o carvão (Mendonça *et al.*, 2021).

No entanto, o consumo de energia elétrica no Brasil também apresenta desafios importantes, como o aumento da demanda em regiões com acesso limitado à rede elétrica e a necessidade de garantir a segurança e a qualidade do fornecimento de energia. De acordo com Sant'ana *et al.* (2020), é preciso investir em tecnologias e infraestrutura para garantir o suprimento de energia elétrica em todo o país. Existem desigualdades significativas no consumo de energia elétrica em diferentes regiões do Brasil, refletindo as desigualdades socioeconômicas do país. Essas desigualdades também estão relacionadas ao acesso à energia elétrica, uma vez que muitas comunidades ainda não têm acesso à rede elétrica, dificultando assim o desenvolvimento econômico e social dessas regiões (Brito *et al.*, 2021).

Vale destacar que o consumo de energia elétrica não é apenas um problema, mas também uma oportunidade para o desenvolvimento de novas tecnologias e modelos de negócio. Segundo Kurniawan *et al.* (2021), o aumento do consumo de energia elétrica tem levado ao surgimento de novas tecnologias de geração de energia, como as fontes renováveis, e a modelos de negócio baseados na geração distribuída de energia elétrica.

Em suma, o histórico de consumo de energia elétrica no Brasil é marcado pelo seu papel fundamental no desenvolvimento econômico e social do país. Apesar dos desafios apresentados, o consumo de energia elétrica tem sido impulsionado por diversas transformações, como o aumento da demanda por fontes renováveis de energia, indicando um caminho para um futuro mais sustentável.

### 2.3 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

No contexto de rede de distribuição de energia elétrica não se pode deixar de mencionar a modalidade de geração distribuída (GD), modalidade essa que tem crescido em importância nos últimos anos, principalmente em razão da necessidade de aumentar a segurança energética e reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a geração distribuída é caracterizada pela produção de energia elétrica proveniente de agentes concessionários, permissionários ou autorizados. Esta é válida para diversas fontes de energia renováveis, como solar, eólica e biomassa, em unidades geradoras de pequeno porte, conectadas à rede elétrica de distribuição.

Essa modalidade de geração tem ganhado destaque em muitos países, em razão de suas vantagens em termos de redução de custos e melhoria da eficiência energética.

Um dos principais benefícios da geração distribuída é a redução das perdas de energia elétrica, que ocorrem durante a transmissão e distribuição da energia elétrica gerada nas usinas convencionais. Segundo Anand *et al.* (2020), a geração distribuída pode ajudar a reduzir essas perdas em até 50 %, resultando em economia de energia e redução de custos para os consumidores.

Além disso, a geração distribuída também pode contribuir para o aumento da resiliência do sistema elétrico, ao permitir a geração de energia elétrica em pequenas

unidades autônomas, que podem funcionar de forma independente em caso de falhas na rede elétrica convencional.

Conforme Irena (2020), a geração distribuída pode ser particularmente útil em regiões remotas ou de difícil acesso, onde a construção de infraestrutura elétrica convencional pode ser inviável.

No entanto, a implementação da geração distribuída também apresenta desafios, como a necessidade de adaptação da infraestrutura elétrica existente e de regulação específica para a conexão de unidades geradoras de pequeno porte à rede elétrica.

Segundo Schmidt *et al.* (2019), a regulação da geração distribuída pode ser complexa, especialmente em relação à compensação financeira pelo excesso de energia gerada pelos sistemas fotovoltaicos conectados à rede.

Apesar de ter vantagens significativas em relação à geração de energia convencional, é preciso superar alguns desafios para a sua implementação em larga escala, o que requer uma abordagem integrada envolvendo reguladores, empresas e consumidores.

## 2.5 DEC/FEC

Os indicadores DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) desempenham um papel fundamental na avaliação da qualidade do fornecimento de energia elétrica em uma rede de distribuição. Eles ajudam a entender o impacto das interrupções e a regularidade delas na experiência dos consumidores.

O DEC e FEC são grupamentos de consumidores vinculados a uma data área física, o que corresponde a um subconjunto da área de concessão. Consumidores localizadas em áreas urbanas não contíguas não poderiam ser agrupados em um mesmo conjunto, com exceção dos consumidores atendidos em tensão igual ou superior a 69kv e por sistemas subterrâneos de distribuição com secundário reticulado ou radial (Santos, 2010, p. 9 apud Tanure, 2000, p. 13).

O DEC quantifica o tempo médio de interrupção, enquanto o FEC mede a frequência de interrupções. Juntos, esses indicadores orientam o planejamento de

melhorias na rede elétrica e influenciam o dimensionamento de transformadores, a confiabilidade do sistema, o planejamento de expansão da rede, a economia de energia e os custos de operação e manutenção.

A primeira legislação que abordou o assunto foi a portaria n.º 46, de 17 de abril de 1978, do antigo Departamento Nacional de águas e Energia Elétrica (DNAEE). A portaria tratava das disposições referentes à continuidade de serviço do fornecimento de energia elétrica a serem observadas pelas empresas distribuidoras de energia elétrica (SANTOS, 2010, p. 8).

Eles também desempenham um papel na configuração e dimensionamento de dispositivos de proteção do sistema elétrico. Em resumo, DEC e FEC são essenciais para a gestão da qualidade do fornecimento de energia e para a satisfação dos consumidores. Segundo o PRODIST módulo 8:

A distribuidora deve possuir procedimentos específicos para atuação em contingência devido a eventos que acarretem interrupções significativas, mesmo que essas interrupções não se enquadrem nos incisos iii e vi do item 5.6.2.2 (PRODIST, 2021, p. 58).

Portanto, DEC e FEC desempenham um papel crítico no dimensionamento e no planejamento da infraestrutura elétrica, incluindo os transformadores. Esses indicadores, quando aplicados em conjunto, capacitam as empresas de distribuição a fornecerem serviços mais confiáveis e a tomar decisões informadas sobre investimentos em infraestrutura elétrica. Eles também desempenham um papel importante na satisfação dos consumidores, garantindo um fornecimento de energia mais estável e confiável.

### **3 ELABORAÇÃO DO PROJETO DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

A elaboração de projetos de rede de distribuição de energia elétrica é uma etapa fundamental no planejamento e na execução de sistemas elétricos que atendem às necessidades de comunidades, empresas e infraestruturas em todo o mundo.

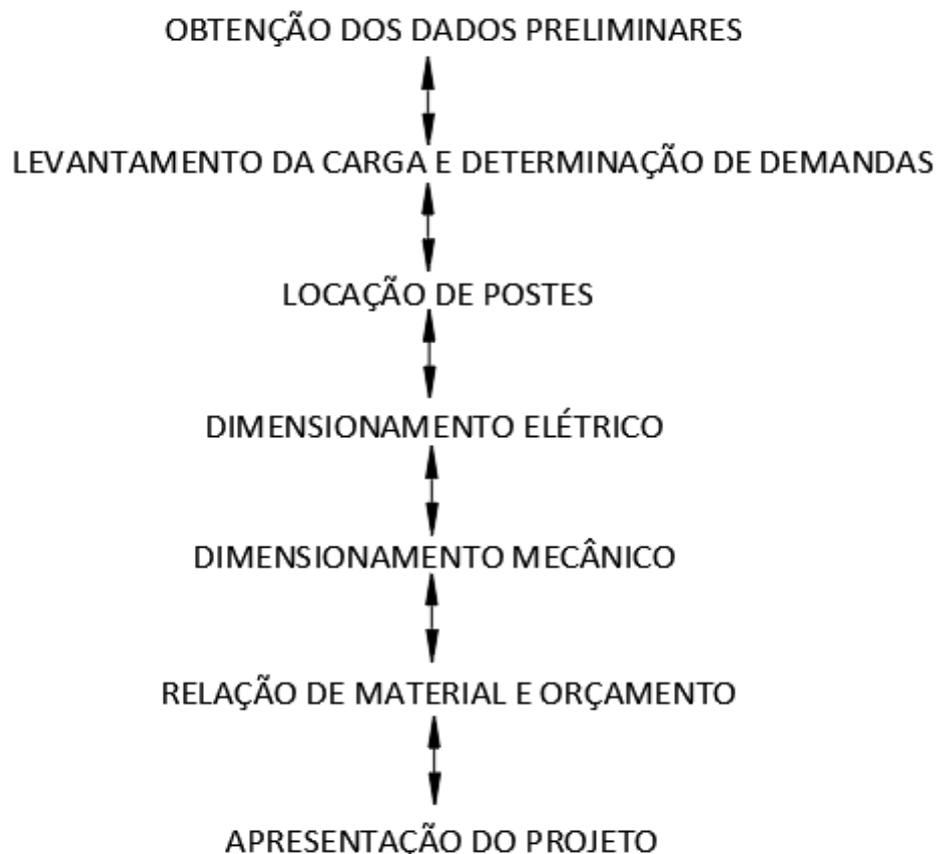
Nessa seção, serão explorados em detalhes o processo de concepção e desenvolvimento desses projetos, revelando os princípios-chave, as melhores

práticas e as considerações essenciais que guiam os engenheiros eletricitas e técnicos do setor elétrico na criação de redes de distribuição elétrica eficientes, confiáveis e seguras.

Cada concessionária tem suas normas e padrões seguindo a normativa da ANEEL, no caso desse trabalho serão abordadas as normas utilizadas pela Cemig, sendo elas as ND 2.2 (Cemig, 2016), ND2.9 (Cemig, 2016), ND 3.1 (Cemig, 2016) entre outras.

O Projeto de rede é distribuído em sete etapas de elaboração conforme a ND 3.1 (Cemig, 2016). Existem as etapas de obtenção dos dados preliminares, levantamento da carga e determinação da demanda, locação de postes, dimensionamento elétrico, dimensionamento mecânico, relação de material e orçamento e apresentação do projeto.

**Figura 2:** Roteiro de elaboração do projeto de rede.



Fonte: o autor (2023).

### 3.1 OBTENÇÃO DE DADOS PRELIMINARES

A etapa de obtenção dos dados preliminares consiste em obter os dados necessários para a elaboração do projeto de rede. Nessa etapa é determinado a finalidade do projeto (se ele será de reforma, expansão ou modificação).

Devem ser consultadas as especificações do circuito, estrutura viária, construções (edifícios governamentais, templos religiosos, estádios etc.), zonas ambientais, travessias e possíveis interferências na área a ser servida. Se necessário, é preciso realizar um levantamento de campo adicional. No caso de atendimento a novas regiões, por exemplo, um novo loteamento, é necessário adquirir um plano georreferenciado, preferencialmente na escala de 1:1000, junto ao responsável pelo empreendimento, para inclusão das informações no Sistema de Geoprocessamento da Distribuição (G-DIS e/ou Projeto Gemini).

Uma avaliação preliminar da região é necessária em caso de redes instaladas em novas regiões, para ser avaliado as condições do local, nível, tipo de urbanização, arborização, tamanho dos lotes entre outros aspectos. O projeto deve prever uma futura expansão para atender às demandas identificadas pelo planejamento, segundo as características de urbanização da localidade. Deve-se levantar possíveis projetos que tenham sido previamente desenvolvidos para a região em questão, mas que ainda não tenham sido executados ou que estejam em fase de construção, e que possam ser incorporados ao projeto em andamento.

Ainda se tratando de obtenção de dados preliminares, tem-se o levantamento topográfico que faz parte dessa etapa. Sabe-se que, a distribuição de eletricidade é um pilar fundamental do funcionamento da sociedade moderna. O fornecimento de energia confiável para os consumidores depende de uma infraestrutura bem projetada e bem administrada. Nesse contexto, os levantamentos topográficos são uma etapa importante na formulação de projetos de distribuição de energia, por fornecerem informações importantes para o planejamento, construção e manutenção dessas redes.

Levantamento topográfico é a prática de coletar dados detalhados sobre a superfície da Terra e suas características. Isso envolve a medição precisa de pontos georreferenciados e a representação gráfica do terreno em mapas e plantas. Em

projetos de redes de distribuição, além disso, desempenha um papel vital por vários motivos.

Um dos aspectos mais importantes é a obtenção de informações detalhadas sobre topografia e topologia do terreno. Essas informações são críticas para determinar o *layout* das linhas de distribuição e identificar áreas com declives, declives e obstruções naturais que podem afetar diretamente a localização dos postes, a distância entre os postes e a tensão dos cabos. Pesquisas precisas permitem que os projetistas ajustem os projetos para minimizar o impacto ambiental e maximizar a eficiência da rede.

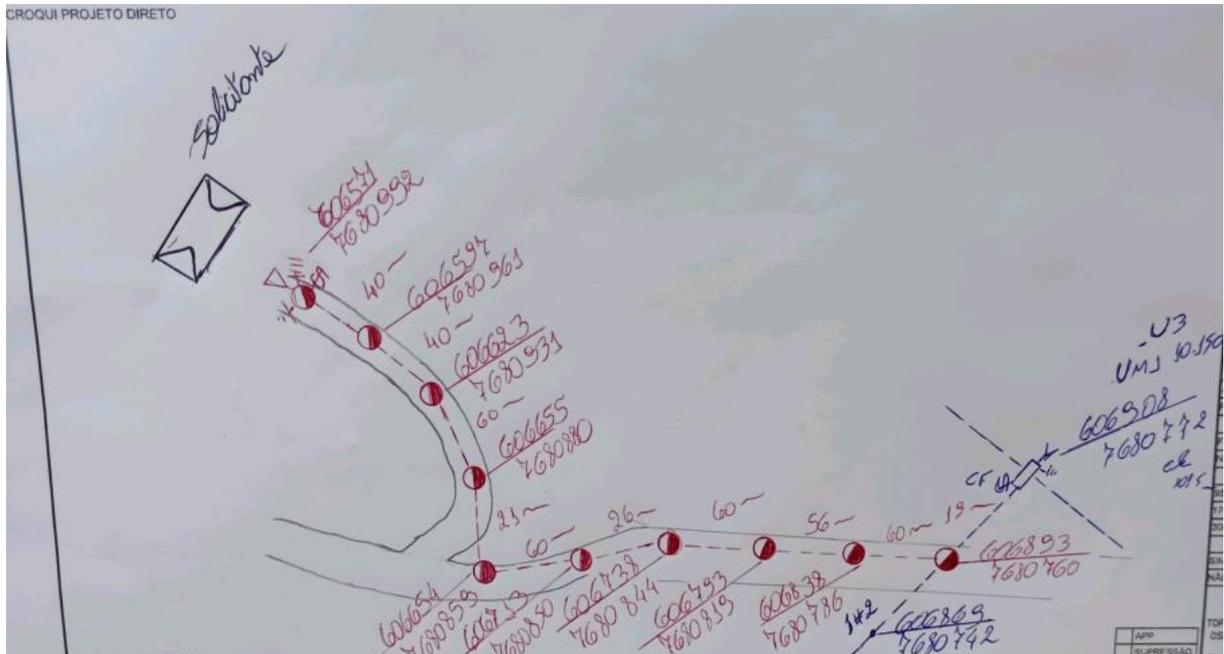
Além disso, avaliar a viabilidade técnica do projeto também é crucial. Antes de iniciar qualquer construção, é fundamental entender as características do terreno para garantir que ele possa acomodar com segurança e estabilidade a infraestrutura da rede de distribuição. A identificação precoce de áreas problemáticas, como solos instáveis ou áreas propensas a inundações, permite que medidas preventivas sejam tomadas para evitar futuras falhas na rede.

A segurança é um aspecto crítico dos projetos de distribuição de energia. Os levantamentos topográficos ajudam a identificar possíveis riscos, como áreas de queda de árvores ou estruturas que interfiram na rede. De posse dessas informações, os projetistas podem planejar a instalação de forma a minimizar os riscos aos trabalhadores da construção e ao público. Ajuda a dimensionar adequadamente as estruturas para garantir que elas possam suportar as condições climáticas locais e cargas elétricas.

O gerenciamento eficiente da manutenção é outra área beneficiada do levantamento topográfico. Obter informações precisas sobre a localização dos elementos da rede, como postes, transformadores e subestações, ajuda a identificar e corrigir falhas rapidamente. Isso minimiza o tempo de inatividade e aumenta a satisfação do cliente.

Na prática, é por meio do croqui de levantamento, que o topógrafo irá registrar todas as características do local onde será realizada a obra, bem como edificações, informações sobre confrontantes (vizinho localizados ao redor do solicitante), além de reserva legal, divisas, entre outras informações relevantes ao projeto (Figura 3).

**Figura 3:** Exemplo de um croqui de projeto de rede (levantamento topográfico).



Fonte: O autor (2023).

O topógrafo é os olhos do projetista em campo. Um levantamento feito de forma detalhada e precisa irá auxiliar o projetista a realizar um projeto de qualidade e evitando possíveis contratempos, que podem ser evitados durante a visita de campo.

Em resumo, o levantamento topográfico desempenha um papel vital na elaboração de projetos de rede de distribuição de energia elétrica. Suas informações permitem um planejamento detalhado, uma avaliação de viabilidade precisa, a segurança durante a construção e operação, além da eficiência na gestão e manutenção da rede ao longo do tempo. Uma rede de distribuição de energia elétrica bem-sucedida depende de um levantamento completo e preciso como base sólida para todos os estágios do projeto.

### 3.2 LEVANTAMENTO DE CARGA / CÁLCULO DE QUEDA DE TENSÃO

Outra etapa importante é a de levantamento da carga e determinação de demanda segundo a ND 3.1 (Cemig, 2016), essa etapa consiste no levantamento da carga a ser atendida e na determinação da demanda total, a determinação do transformador é de suma importância para elaboração do projeto de rede de distribuição.

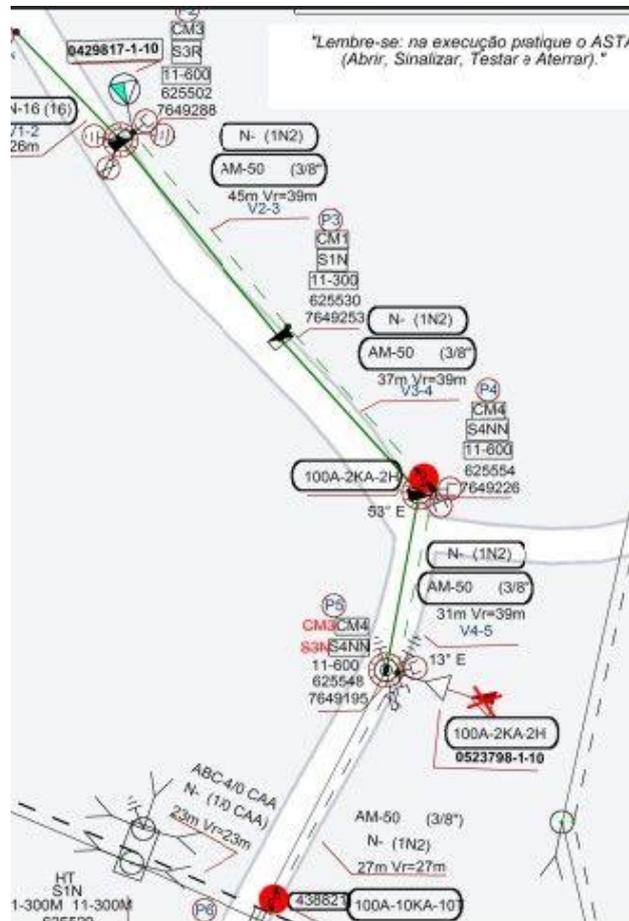
Em projetos de rede de distribuição, o projetista deve ficar atento a diversos detalhes durante a elaboração do projeto de rede. Um ponto muito importante a ser destacado é a instalação de transformadores, deve ser considerado o local a ser instalado e a distância entre o transformador e o último poste a qual ele atenderá, essa distância não pode exceder 160 metros para redes trifásicas e 120 metros para rede monofásica, independente da direção que está saindo do transformador. Outro fator preponderante na instalação de um transformador é a proximidade com o centro de carga do respectivo circuito secundário ao qual ele será alocado, bem como às concentrações de cargas. Cargas essas que causam o efeito *flicker*, ocasionado pelas oscilações periódicas da tensão, em sua grande maioria esse efeito é causado por equipamentos robustos como: raio-x, forno a arco, máquina de solda, motor de grande capacidade, entre outros.

Transformadores não podem ser instalados em pontos onde a rede possui uma angulação ou em postes alocados em esquinas, em casos em que o ângulo de deflexão for menor que  $30^\circ$  deve ser feito um estudo de risco para prever possíveis abalroamentos.

Outro fator a ser considerado é a disposição de mais de um transformador em uma rede. Transformadores com chave de proteção deslocada deve ficar em final de rede ou em locais onde não existe outro transformador na mesma extensão. Caso contrário, o transformador anterior deve ter chave instalada no mesmo poste do transformador até chegar ao transformador do final da rede, esse pode ter sua chave de proteção deslocada como indicado na Figura 4.

Na Figura 4 tem-se a representação do que foi mencionado anteriormente, onde por existir um transformador na rede a qual partiria uma nova derivação, foi preciso uma coordenação de chave. Isso consiste em deixar uma chave fusível no início da rede, para que a mesma atue desligando todo o trecho em que ela pertence, de forma a facilitar a manutenção da rede. Outra medida foi retornar a chave de proteção do transformador para ele, permitindo assim, a instalação do novo transformador e conseqüentemente deslocando sua chave para o poste mais próximo possível da rede tronco.

**Figura 4:** Evolução da Capacidade Instalada de Energia Solar Fotovoltaica.



Fonte: O autor (2023).

Em se tratando de circuitos existentes de baixa tensão, a ND 3.1 (Cemig, 2016) é admitido no máximo uma carga de 120 % da capacidade nominal do transformador convencional e de 90 % para transformadores autoprotegidos, considerando que a carga máxima deve ser verificada no horário de pico.

Em contrapartida, em circuitos novos de baixa tensão, deve-se projetar o circuito para ser permitida a instalação de novas cargas. Ademais, deverão ser regularizados os níveis de tensão e carregamento. Segundo a ND 3.1 da (Cemig, 2016) "o carregamento máximo inicial admitido para os transformadores MT/BT (Média tensão / Baixa tensão) deve estar entre 80 e 100 % da capacidade nominal do equipamento para os transformadores convencionais e entre 70 e 80 % da capacidade

nominal para os transformadores autoprotetidos.” Deve ser considerado também que a carga máxima deve ser verificada no horário de pico.

O projetista tem em mãos diversas ferramentas que o auxiliam no momento de dimensionar um transformador e de verificar que há queda de tensão no circuito em que está sendo trabalhado. Para o cálculo de queda de tensão a Cemig disponibiliza uma planilha e o Gemini (Projeto que deu origem ao software de georreferenciamento utilizado pela Cemig), para o cálculo ser feito. Além disso, alguns softwares podem ser utilizados para auxiliar o projetista, mas somente com a autorização prévia da Cemig, como o PSS Adept, que será discutido no decorrer dessa seção.

Outro ponto importante a ser abordado é que a queda de tensão máxima permitida em circuitos de baixa tensão é de 5% para municípios que não possuem subestação AT/MT (Alta Tensão / Média Tensão) e de 7% para aqueles que não possuem subestações.

Na regional da Mantiqueira a ferramenta utilizada pelos projetistas para o cálculo de queda de tensão é o PSS Adept juntamente com a planilha disponibilizada pela Cemig.

A ferramenta PSS Adept é utilizada para calcular a queda de tensão em um circuito e se o transformador irá atender de forma satisfatória os clientes atendidos por ele, o uso dessa ferramenta é exigido pela concessionária mineira de energia Cemig.

Em uma solicitação onde é preciso estender vãos contendo cabos isolados de baixa tensão, deve ser analisado se haverá queda de tensão no circuito, e através da ferramenta PSS Adept o projetista conseguirá simular o que está presente em campo e fazer as alterações necessárias para que todos os clientes sejam atendidos com qualidade e segurança.

A primeira coisa a ser feita é analisar com a ajuda do G-DIS a demanda total da localidade a ser atendida, bem como as demandas de cada tipo de consumidor. De posse dessas informações, o projetista irá utilizar uma tabela para auxiliar no cálculo da demanda acrescentada no circuito.

Cada concessionária terá sua tabela ou aplicativo para facilitar os cálculos e assim agilizar o trabalho do projetista.

Na Figura 5, há um exemplo de como colocar os dados de liberação de carga em uma tabela pré-criada.

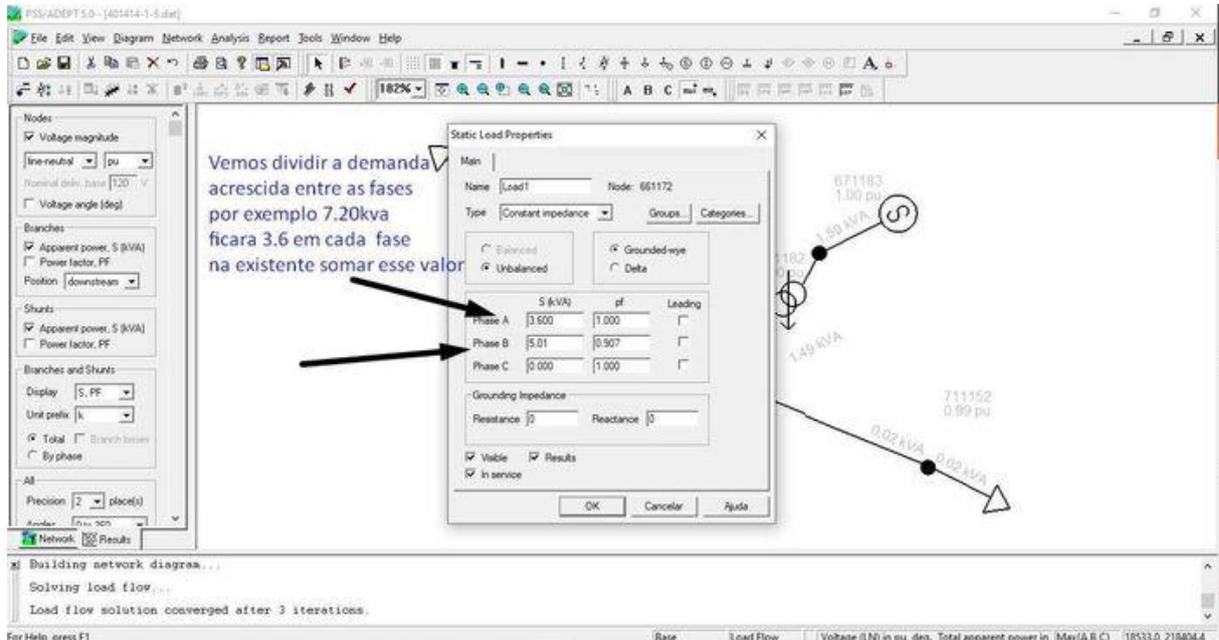
**Figura 5:** Tabela preenchida com os dados de demanda da localidade do novo transformador.



Fonte: O autor (2023).

O projetista necessita considerar o número de fases que o novo ponto de carga terá, pois é através desse valor que será indicado quantos kVA terá em cada fase, sendo a demanda acrescentada dividida pelo número de fases, como indicado na Figura 6.

**Figura 6:** Demanda acrescida por fase.



Fonte: O autor (2023).

Por exemplo, se a demanda acrescida for de 7,20 kVA e o disjuntor for bifásico, cada fase ficará com 3,6 kVA por fase.

Após a execução da simulação, será indicado se o circuito a ser analisado possui ou não queda de tensão.

A Figura 7 ilustra como o PSS Adapt indica não haver queda de tensão no circuito simulado, deste modo o software nos mostra todo circuito em verde, no caso de haver queda de tensão existente no circuito o software pode ser configurado para indicar o circuito em vermelho. A partir dessas informações o projetista tomará decisões acerca de resolver a queda de tensão.

A nd 3.1 nos diz que:

O carregamento máximo inicial admitido para os transformadores MT/BT deve estar entre 80 e 100% da capacidade nominal do equipamento para os transformadores convencionais e entre 70 e 80% da capacidade nominal para os transformadores autoprotetidos. O carregamento máximo deve ser verificado no horário de ponta de carga do transformador (Cemig, 2016, p. 7-4).



### 3.3 DIMENSIONAMENTO MECÂNICO

É de suma importância o cálculo de queda de tensão, mas as estruturas que irão suportar os componentes das redes de distribuição de energia elétrica são tão importantes quanto. O dimensionamento mecânico, refere-se ao dimensionamento de postes e tipos de estruturas.

Um dos componentes mais importantes em uma rede elétrica de distribuição é o poste, é através dele que as demais estruturas irão se conectar, sua função primordial é sustentar cabos, transformadores, estruturas primárias e secundárias entre outros demais equipamentos.

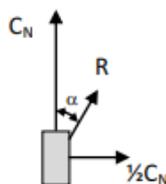
É imprescindível o dimensionamento preciso dos postes, pois ao se alocar um poste que suporte um valor inferior de esforço, pode ocasionar a quebra do poste, causando danos aos postes adjacentes, bem como ferimentos graves ou até mesmo óbitos nas equipes de execução de trabalho.

A Cemig possui seu padrão de postes, sendo eles, o duplo T utilizado em redes rurais e de fácil acesso. Os postes de fibra e/ou de eucalipto são utilizados para locais de difícil acesso onde o transporte dos componentes deve ser efetuado sem o auxílio de caminhões. Já os postes de concreto circular são mais utilizados em locais de características urbanas e quando serão utilizadas redes compactas.

O projetista tem que sempre utilizar as normas da concessionária para qual está projetando para adequar seu projeto aos padrões da contratante.

Uma diferença importante a ser mencionada entre o poste Duplo T e o poste de seção circular é em relação a sua resistência, enquanto os postes circulares possuem a mesma resistência em todo seu diâmetro, o duplo T possui uma peculiaridade onde, o seu lado de maior seção possui metade da resistência total do poste, como mostra a Figura 8.

**Figura 8:** Vetores de resistência de um poste duplo T.

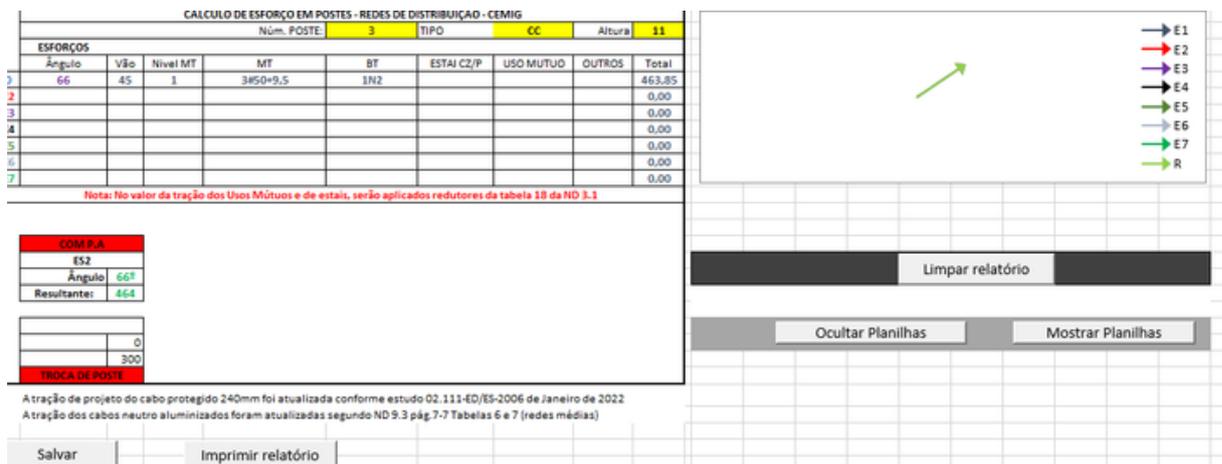


Fonte: ND 3.1 (Cemig, 2016).



e um ângulo de  $66^\circ$ . Como o poste em questão foi dimensionado para uma resistência de 300 DAN o mesmo não suportará os esforços presentes nessa rede.

**Figura 10:** Cálculo de esforço mecânico.



Fonte: O autor (2023).

Na Figura 10 nota-se que a resultante para esse poste é muito maior que o suportado por ele. Sendo assim, o projetista deve adequar seu dimensionamento selecionando um poste que suporte um esforço maior ao que foi indicado pela resultante, no caso da Figura 10 deve-se utilizar um poste de 600 Dan.

Um fato interessante a ser ressaltado é que a planilha indica que seja utilizada uma profundidade aumentada, ou seja, o poste deve ter sua base colocada a 1,80 metros de profundidade. De posse das normas da Cemig é possível encontrar outro fator determinante para esse dimensionamento em questão, por se tratar de uma rede compacta e por ser um poste de 600 Dan, sua base deve ser concretada tendo um diâmetro de 90 cm.

Um poste mal dimensionado pode acarretar uma série de problemas, desde queda, arrancamento, colapso e até mesmo fatalidades, por esse motivo o cálculo de esforço deve ser realizado com bastante cuidado e considerando possíveis adversidades encontradas durante a realização do projeto.

Muitas vezes é necessário um cálculo mais elaborado para realizar o dimensionamento das estruturas, para isso, o projetista tem em mãos outro software

em mãos cedido pela Cemig, a fim de auxiliar no dimensionamento de estruturas e postes para extensões de rede acima de 300 metros.

A utilização do programa PRORDR da Cemig é indicado quando a extensão de uma rede ultrapassa os 300 metros sendo imprescindível a utilização da ferramenta, a norma ND 2.2 da Cemig diz que:

Por ser um programa padrão na empresa, o PRORDR deve ser sempre utilizado para projetos com extensão acima de 300 metros. Esse programa permite longos trechos de redes sem a utilização de estais laterais. Em áreas com dificuldades para instalação de estais, deve ser escolhida a opção de estruturas sem estais laterais. (ND 2.2 Cemig, 2016).

A ED 3.32 da Cemig ilustra detalhadamente como deve ser a utilização do PRORDR, bem como seu funcionamento e métricas.

O PRORDR é uma ferramenta desenvolvida pela Cemig a fim de reduzir o tempo de execução do projeto, reduzir a mão de obra contratada, reduzir o custo do projeto, ter maior precisão nos cálculos, otimização dos projetos, independe da experiência do projetista, dispensa a consulta às normas e tabelas por parte dos projetistas, liberação de mão-de-obra especializada e aprimoramento da mão-de-obra. Garantindo qualidade e segurança na elaboração dos projetos de rede de distribuição.

Antes do PRORDR ser utilizado, deve ser elaborado a caderneta de campo. Ela demanda do projetista uma análise mais detalhada do terreno onde será instalada a rede de distribuição. Na maioria das vezes a topografia irá fornecer a caderneta preenchida para a equipe de projetos, porém há casos em que o projetista terá que lançar mão de ferramentas georreferenciadas como o *Google Earth*, por exemplo.

O Sistema PRORDR está estruturado para elaboração do projeto da rede rural considerando-se trechos isolados de tronco ou ramais processados caso a caso após a entrada dos dados da caderneta de campo (ED 3.32, Cemig,1990, p. 4-1).

A função primordial da utilização do *Google Earth* é indicar para o projetista como é o perfil de elevação do terreno onde a rede irá passar, mostrando aclives,

declives entre outros aspectos do terreno. A Figura 11, retrata um perfil de elevação, o qual servirá de base para a criação da caderneta de campo.

Ao utilizar o *Google Earth*, o projetista irá marcar no software pontos, pelos quais a rede irá passar, e traçará uma linha interligando esses pontos. Com isso o software irá gerar uma imagem detalhada das características do terreno analisado.

**Figura 11:** Perfil de elevação.



Fonte: O autor (2023).

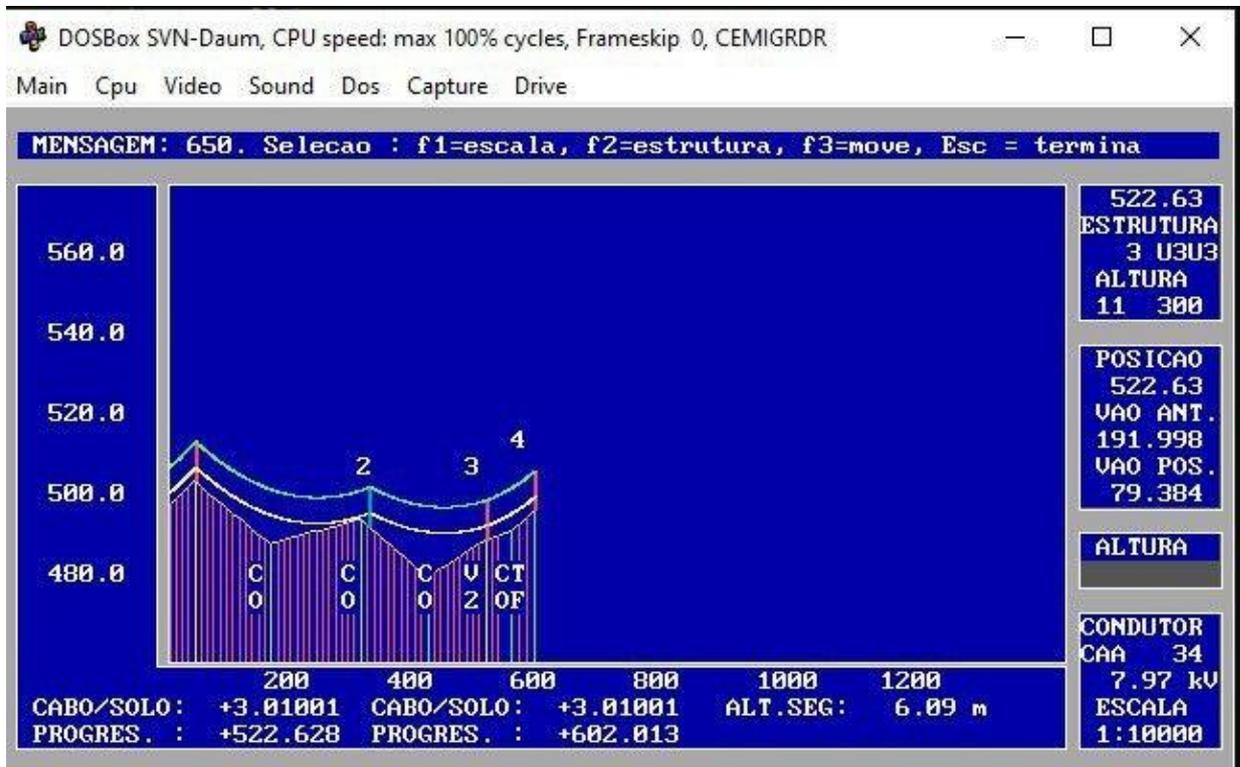
O projetista deve considerar os ângulos formados pela rede, e sempre seguindo o que a norma indica a ser feito. No caso de derivações o primeiro vão não pode ser menor que 30 metros e não pode haver um grau de deflexão menor que 30°.

De posse dessas informações, o projetista irá utilizar de fato o PRORDR. Essa ferramenta irá calcular as forças de tração, flecha, projetar as devidas estruturas, e onde seria melhor a locação dos postes, a fim de se evitar que os cabos fiquem baixo devido à ação térmica e dos ventos. Os cabos devem ficar a uma distância mínima de 7 metros do solo.

Em caso de situação de neutro baixo devido a um número menor de postes durante a criação da caderneta ou alturas de postes incompatíveis com o perfil de elevação, o projetista deve alocar um novo poste manualmente no programa, a fim de, evitar que os cabos tenham sua flecha abaixo de 7 metros de altura.

A Figura 12 ilustra o que o projetista deve buscar ao realizar o PRORDR.

**Figura 12:** Altura cabo/solo dentro do limite permitido.



Fonte: O autor (2023)

Com a adição de um poste na cota 2, é possível ter uma distância cabo solo de 3 metros a mais do recomendado de 7 metros. Sendo assim, esse perfil tem uma distância de cabo solo de 10 metros, permitindo assim o projetista dar prosseguimento ao projeto em questão.

Durante o processo, o projetista irá gerar vários documentos como: impressão de cálculos de caderneta de campo, locação de estruturas, planta baixa, perfil, cálculo de trações e flechas, análise mecânica. Esses documentos serão enviados com o projeto de rede, para assegurar a qualidade e segurança da rede a ser instalada.

A planta baixa é um exemplo de um dos documentos que serão impressos durante a utilização do PRORDR. De posse desse documento, o projetista terá em mãos, os valores dos ângulos existentes no projeto, distância entre postes, posicionamento dos aterramentos, entres outras informações que irão auxiliá-lo na elaboração do projeto de rede em questão.

### 3.4 PROJETO DE REDE

Durante a elaboração de um projeto de rede de distribuição, o projetista deve ficar atento a todos os documentos gerados nas etapas anteriores, e de posse desses documentos e das normas vigentes, pode-se dar início a elaboração do projeto. Primeiramente, deve acessar o croqui de levantamento de rede realizado pela equipe de topografia. Bem como a carta acordo, carta essa que contém todas as informações do valor a ser pago pela obra, bem como o que foi acordado entre as partes, ou seja, se a concessionária irá arcar com todas as despesas ou se será dividido como o solicitante.

A carta acordo é um exemplo de documento que contém informações sobre os valores a serem pagos, bem como se a obra será universalizada, ou seja, a concessionária irá pagar tudo ou não universalizada, nesse caso o cliente paga uma parte da obra e uma breve descrição do que precisa ser conduzido no projeto.

Apesar da carta acordo conter informações determinantes para elaboração do projeto, devem ser comparadas as informações contidas na carta com os demais documentos para evitar quaisquer divergências de informação.

Outro documento importante a ser analisado é o formulário de solicitação de ligação. Nele será contido informações como demanda do solicitante, disjuntor a ser instalado no medidor, entre outras informações.

Antes de iniciar a elaboração do projeto em um dos ambientes de desenvolvimento, o projetista deve olhar o relatório fotográfico. Nele será mostrado como estão as condições em campo, disposição dos postes, condição dos mesmos, entre outros diversos fatores que podem ser de fundamental apoio no momento da elaboração.

Com acesso às fotos tiradas em campo, o projetista tem como avaliar a situação dos postes que se encontram em campo e com isso o projetista pode tomar decisões como, substituir o poste ou equipamento de proteção, entre outras ações que serão julgadas necessárias para a realização do projeto de rede. O próximo passo a ser seguido é de fato a elaboração do desenho do traçado a ser projetado. Para tal pode ser utilizado duas ferramentas, o *Autocad* ou o *Electric Office*. Atualmente a concessionária Cemig está em processo de transição e implementando o *Electric Office* da GE como sua ferramenta de desenvolvimento de projetos e de controle da rede.

O *Electric Office* é uma ferramenta utilizada mundialmente por companhias de energia, pois auxilia na elaboração, e supervisão da malha de rede da concessionária, facilitando assim o gerenciamento.

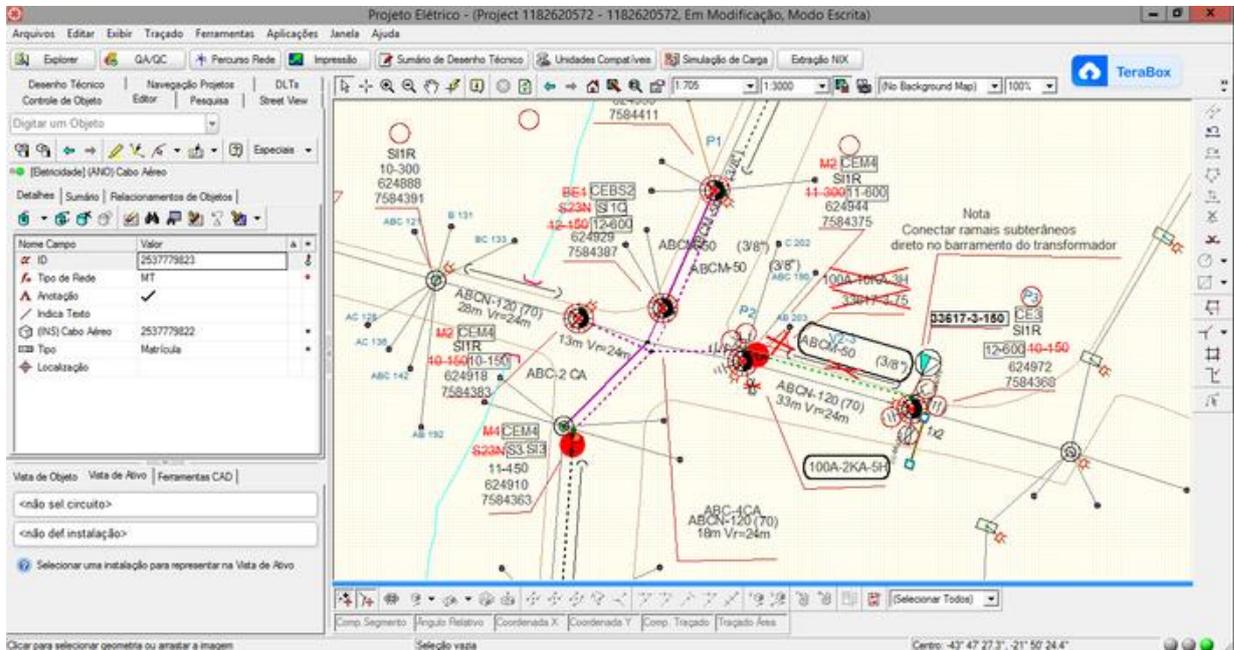
Apesar de ser uma ferramenta que ajuda o projetista nas tarefas diárias, o profissional precisa ter um conhecimento aprofundado das normas vigentes bem como, possíveis derivações da mesma, pois cada projeto demanda uma atenção diferente devida seu traçado, terreno, localidade.

Na Figura 13 tem-se um exemplo de um projeto sendo elaborado na cidade de Lima Duarte, Minas Gerais. A princípio a Cemig solicitou que o transformador localizado no poste P2 fosse realocado no poste P3, porém após análise da solicitação o autor percebeu a necessidade de converter um trecho de rede convencional para rede protegida.

Para isso foi necessário um estudo mais detalhado da situação por existir um *fly tap* nesse trecho. Sendo assim, não há possibilidade de colocar um estai de poste-poste paralelo ao *fly tap*, pois o cabo de aço utilizado ficaria em um nível muito baixo, inviabilizando essa abordagem. Para isso, foi necessário reconduzir um trecho maior, assim os estais utilizados ficariam em um trecho onde há os cabos de aço na altura ideal para sua instalação. Outro detalhe importante a ser salientado é a troca dos cabos de baixa tensão, pois segundo a ND 3.1 nos instrui que:

Projetos de extensão, de reforma e reforço, o padrão mínimo de atendimento urbano, estabelecido pela Distribuição, é o de redes isoladas de baixa tensão. Em conversão de rede primária monofásica para trifásica ou reforma da rede secundária, se a rede secundária existente for construída com cabos nus, a substituição por rede isolada é obrigatória (Cemig, 2016, p. 5-2).

**Figura 13:** Exemplo de projeto elétrico em processo de elaboração.



Fonte: O autor (2023).

Nota-se que elaborar um projeto de rede de distribuição vai muito além de somente reproduzir o que está em um croqui de levantamento ou atender uma solicitação vinda da concessionária. Deve ser analisado todas as nuances do projeto em questão, bem como adaptar o que foi proposto as normas vigentes e análise do que já existe em campo.

É de suma importância a leitura das normas, bem como tirar dúvidas e escutar opinião de outros projetistas, principalmente os mais experientes. Afinal, a vivência na elaboração de projetos o fará ter uma visão diferente e mais clara de situações parecidas que já ocorreram em sua carreira.

Um projeto de rede de qualidade, além de ter um bom dimensionamento de componentes, uma boa aplicação da norma, é necessário um bom layout, pois é através dos dados informados nele que a equipe de construção e outros projetistas irão se orientar.

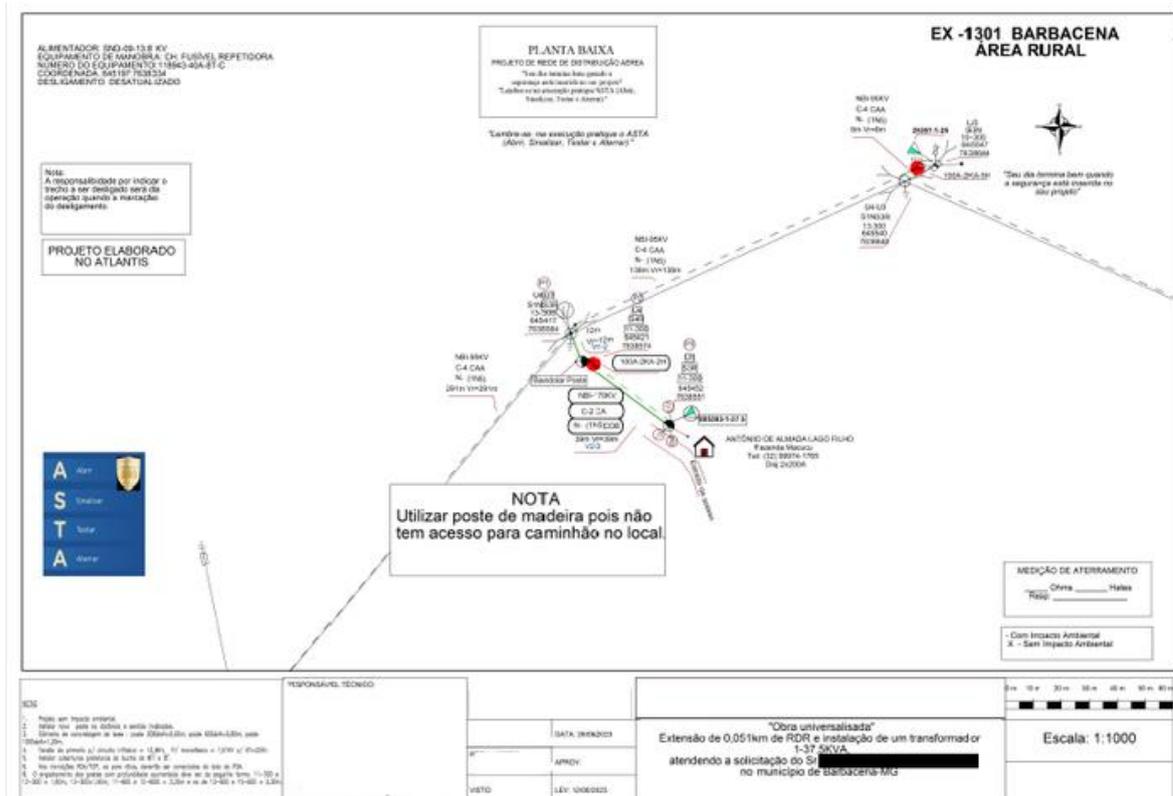
Um projeto muito poluído, ou seja, com informações sobrepostas ou com excesso delas, poderá causar transtornos durante a execução. Deve ser seguido também a simbologia adotada pela concessionária para qual se está projetando. A

simbologia utilizada pela Cemig está contida na norma ND 3.1, e com isso pode ser adotado um padrão de projetos.

Com a implantação do Eletric office, projetos urbanos se tornam um desafio no momento da confecção da prancha por serem muitas informações, muito próximas, tornando a tarefa do projetista de organizá-las um tanto desgastante.

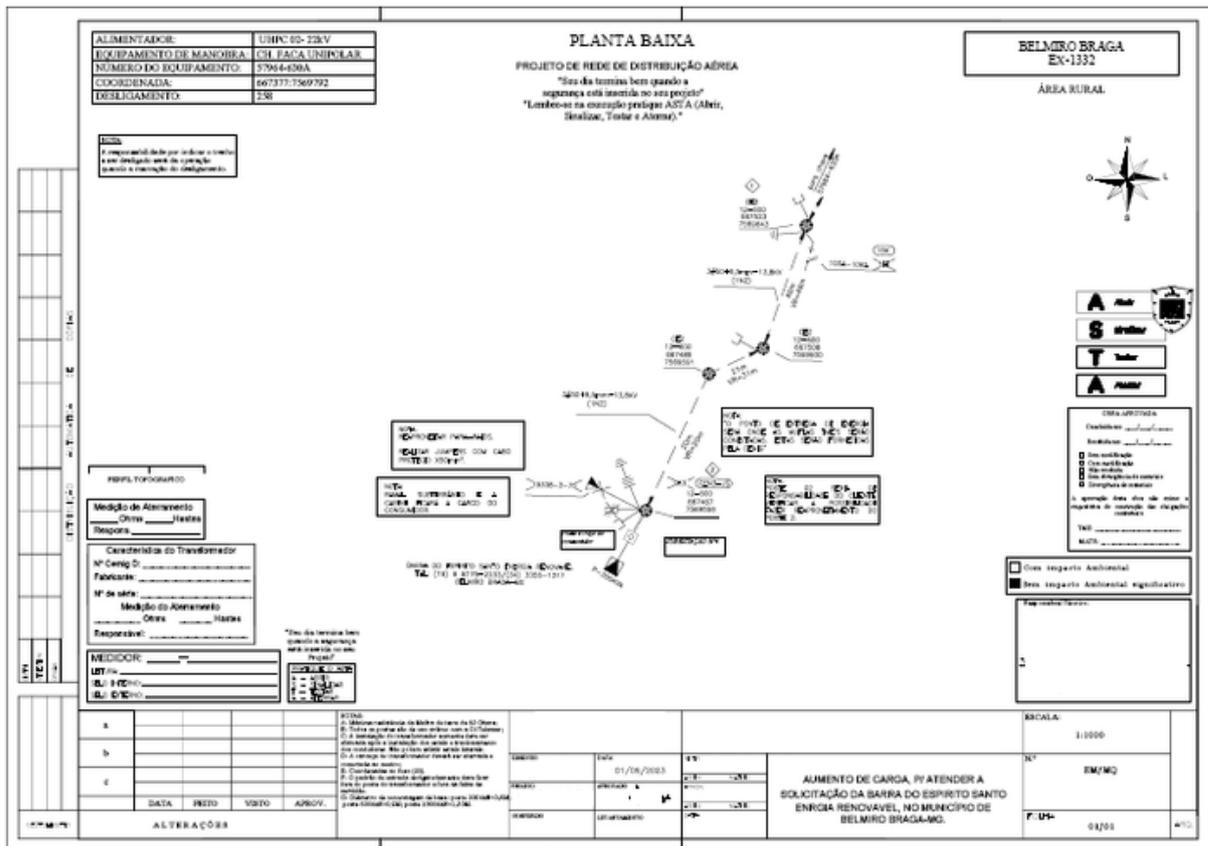
Já utilizando a ferramenta AutoCad essa tarefa é um tanto mais simples, pois é possível suprimir algumas informações ou aumentar a escala do trecho fazendo uma visão detalhada, por exemplo, para as informações serem acrescentadas de forma mais clara. A seguir, nas Figuras 14 e 15, podem ser observados dois exemplos de projetos elaborados pelo autor, um deles realizado no *Eletric office* e outro no *AutoCad*.

**Figura 14:** Projeto realizado utilizando o Eletric Office.



Fonte: O autor (2023).

**Figura 15:** Projeto realizado utilizando o AutoCad.



Fonte: O autor (2023).

É fácil perceber a diferença entre as duas plataformas. O AutoCad possui uma funcionalidade mais gráfica, ou seja, é mais voltada para desenhos técnicos, enquanto o *Electric Office* é mais voltado para o gerenciamento e supervisão da malha de rede de distribuição.

### 3.5 ORÇAMENTO

O orçamento é um ponto crucial na elaboração do projeto de rede, pois é nessa etapa que os componentes que serão utilizados na construção são quantizados, tudo deve ser orçado desde componentes ao valor a ser cobrado pela mão de obra utilizada para a realização daquela tarefa.

Uma vantagem do *Eletric Office* é a inserção automática de alguns componentes no orçamento, bem como sua quantidade inserida durante a elaboração do projeto.

Os componentes são inseridos de forma automática no *Eletric Office*, agilizando assim o processo e deixando para o projetista somente a tarefa de acrescentar em seu orçamento os componentes não listados.

Deve-se atentar também a quantidade de fases presentes no projeto para o componente selecionado ser compatível como que foi projetado. Já em relação à cobrança da mão de obra utilizada, é necessário ter em mão o valor tabelado para cada serviço prestado e assim o projetista ser capaz de valorar cada um, como o valor a ser cobrado pelo projeto elaborado (mão de obra de projeto) e o valor a ser cobrado pela execução do serviço em campo (mão de obra de construção).

### 3.6 COMISSIONAMENTO

A etapa final na qual o projetista está inserido é o comissionamento. Nessa etapa o projeto elaborado é verificado, são analisados alguns quesitos, dentre eles tem-se: qualidade, clareza nas informações, utilização correta de estruturas e postes, dimensionamento correto de componentes, informações corretas do local da obra e de equipamentos de proteção, além de ser verificado se o projeto elaborado condiz com a solicitação do cliente.

O comissionamento do projeto é feito por parte da concessionária de energia, mas pode ser feito em duas etapas, sendo uma delas pela empreiteira de projetos e outra etapa sendo feita pela concessionária para qual a empreiteira presta serviços.

Nessa etapa o projetista deve ficar atento as correções propostas, e ter a consciência de que a rejeição de um projeto pelo comissionamento irá evitar um possível acidente no futuro ou uma inadequação do projeto com o encontrado em campo e/ou com as normas vigentes, reduzindo drasticamente a qualidade de entrega de energia e aumentando o risco a população e a equipe de execução.

A elaboração de projetos é o ponto fundamental na construção de redes de distribuição, pois é através dele que é possível garantir a qualidade e segurança da obra.

## 4 CONCLUSÃO

Em suma, a elaboração de projetos de rede de distribuição de energia elétrica emerge como uma disciplina de fundamental relevância no cenário contemporâneo da engenharia elétrica e da gestão de sistemas energéticos. Ao longo deste trabalho, foi explorado em detalhes a complexidade desse processo, desde o planejamento inicial até a operação contínua da rede, destacando a importância crítica de um projeto bem elaborado.

Através das análises realizadas, tornou-se evidente que a eficiência, a confiabilidade e a segurança do sistema elétrico estão intrinsecamente ligadas à competência do projetista. Um planejamento preciso, a consideração de fontes de energia renovável, a integração de tecnologias avançadas e o cumprimento de regulamentações são apenas algumas das áreas nas quais o conhecimento do projetista é indispensável. Além disso, o papel do projetista não se encerra na implementação; ele desempenha um papel contínuo na manutenção, expansão e adaptação da rede às mudanças nas demandas e nas tecnologias.

É importante reconhecer que a sociedade moderna depende significativamente de uma rede de distribuição de energia elétrica confiável e eficiente. Portanto, o trabalho do projetista não é apenas técnico, mas também tem um impacto direto na qualidade de vida das comunidades, na produtividade das empresas e na sustentabilidade ambiental.

À medida que o mundo enfrenta desafios crescentes relacionados à demanda de energia, mudanças climáticas e inovações tecnológicas, a capacidade do projetista de se adaptar e responder a esses desafios torna-se ainda mais crítica. A transição para sistemas de energia mais limpos e sustentáveis exige uma visão de longo prazo e um compromisso com a inovação.

Em última análise, a elaboração de projetos de rede de distribuição de energia elétrica é uma disciplina em constante evolução, e a expertise do projetista é um recurso inestimável para o setor elétrico. Como a sociedade busca um futuro mais eficiente, seguro e ambientalmente responsável, o papel do projetista continuará a ser vital na construção do alicerce para um sistema de energia elétrica que atenda às necessidades das gerações presentes e futuras.

## **ABSTRACT**

Due to the increasing demand for electrical energy, the sector is constantly expanding, emphasizing the importance of continuously improving the quality of the distribution network. In this context, it becomes necessary to develop robust projects, adhering to pre-established standards and employing meticulously structured calculations. With this proposal, the objective of this work is to elucidate the process of developing projects for electrical distribution networks, outlining the steps to be followed. The document covers analyses derived from topographic surveys, essential standards in the conception of electrical projects, as well as the tables and software adopted by the Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG). Additionally, it presents a brief overview of the everyday situations faced by electrical distribution network designers. Based on the experience gained in the field, the work compiles tips and guidance derived from the author's daily experiences, aligned with the standards determined by CEMIG. Its goal is to guide not only new designers but also those at the beginning of their careers.

**Keywords:** Cemig. Distribution network. Electrical energy. Project development.

## **REFERÊNCIAS**

ANEEL. **Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**. Módulo 8 – Qualidade de Energia, 2021.

ANEEL. **Novas usinas em operação comercial no primeiro trimestre de 2023 somam 2,7 GW**. 2023. Disponível em <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/novas-usinas-em-operacao-comercial-no-primeiro-trimestre-de-2023-somam-2-7-gw> Acesso em: 08 ago. 2023

ANAND, A. *et al.* Distributed generation for power loss reduction in distribution systems: A review. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 41, p. 100891, 2020.

BARROS, F. C. **Evolução do setor elétrico brasileiro**. Rio de Janeiro: Ed. FGV, 1971.

BASSO, H. C.; SILVA, G. P. da. Consumo de energia elétrica e eficiência energética. **Revista Brasileira de Energia**, v. 24, n. 1, p. 77–93, 2018.

BEZERRA, J. G. *et al.* O papel da energia elétrica no desenvolvimento econômico: uma análise da competitividade das empresas. **Revista de Gestão e Projetos**, v. 12, n. 1, p. 17–29, 2021.

BORBA, B. S. *et al.* Histórico do consumo de energia elétrica no Brasil. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2018, Gramado. **Anais [...]**. Gramado, 2018, p. 1-10.

BRITO, M. V. *et al.* Energy consumption inequality in Brazil: A multidimensional analysis. **Energy Policy**, v. 153, p. 112168, 2021.

CEMIG. **Normas técnicas**. 2016. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/atendimento/normas-tecnicas/> Acesso em: 18 set. 2023

COSTA, F. R. Regulação da distribuição de energia elétrica no Brasil: uma análise das mudanças com a privatização. **Revista de Economia Contemporânea**, v. 10, n. 2, p. 337–360, 2006.

DIAS, L. R. C. *et al.* Conflitos socioambientais em torno da construção de linhas de transmissão de energia elétrica: a visão dos atores envolvidos. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 44, p. 55–74, 2017.

DUARTE, C. G., *et al.* Planejamento Energético e Meio Ambiente: Comparação entre os Casos do Brasil e da Nova Zelândia. *In*: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 2012. **Anais [...]**. Curitiba, 2012.

GAGO, A. S. *et al.* Consumo de energia elétrica: uma análise da relação com o crescimento econômico. **Revista Brasileira de Energia**, v. 28, n. 1, p. 29–43, 2020.

GOLDEMBERG, J.; PARENTE, P. A evolução do setor elétrico brasileiro e a agenda para o futuro. **Novos Estudos – CEBRAP**, v. 37, n. 3, p. 105–122, 2018.

IRENA. Renewable energy in the water, energy, and food nexus. **International Renewable Energy Agency**, 2020.

KURNIAWAN, T.; SINGH, B. Renewable energy generation and consumption of electricity: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 294, p. 126214, 2021.

MACHADO, R. A. *et al.* Energias renováveis: impactos ambientais e benefícios socioeconômicos. **Revista Eletrônica de Ciência Ambiental**, v. 71, p. 101–116, 2020.

MENDONÇA, F. S.; SANTOS, J. B. Evolução do consumo de energia elétrica no Brasil e o papel das fontes renováveis. **Revista Brasileira de Energia**, v. 27, n. 1, p. 105–120, 2021.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Energia Renovável no Brasil**: situação atual, tendências e desafios. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.mme.gov.br/documents/36292/2438270/Livro+energia+renovavel+no+brasil+-+2020.pdf/081dedd6-b7c3-0ed3-3d0f-3f9529f21e47?version=1.0>. Acesso em: 08 abr. 2023.

PEREIRA, A. M. *et al.* O impacto da energia elétrica na qualidade de vida da população brasileira. **Revista Brasileira de Energia**, v. 25, n. 1, p. 41–56, 2019.

RIBEIRO, R. *et al.* Análise do consumo de energia elétrica no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 2019. **Anais [...]**, 2019, p. 1-10.

SANTOS, F. C. **Metodologia de auxílio na tomada de decisão na formação de conjuntos de unidades consumidoras de energia elétrica**. 2010. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

SCHMIDT, A. C. *et al.* Barriers and opportunities for distributed generation in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 100, p. 333–341, 2019.

SILVA, E. L. O desafio da modernização do setor elétrico brasileiro. **Revista de Política Energética**, v. 23, n. 2, p. 39-56, 2019.

**SISTEMA OCEPAR. ANEEL: Novas usinas em operação comercial no primeiro trimestre de 2023 somam 2,7 GW.** 2023. Disponível em: <https://www.paranacooperativo.coop.br/ppc/index.php/sistema-ocepar/comunicacao/2011-12-07-11-06-29/ultimas-noticias/146136-aneel-novas-usinas-em-operacao-comercial-no-primeiro-trimestre-de-2023-somam-27-gw> Acesso em: 30 nov. 2023.

SOUZA, E. F.; PIMENTEL, M. J. Energia elétrica e desenvolvimento social: uma análise dos impactos no Brasil. **Revista de Administração Pública**, v. 53, n. 4, p. 683–701, 2019.

TANURE, J. E. P. S. **Análise Comparativa de Empresas de Distribuição para o Estabelecimento de metas de Desempenho para Indicadores de Continuidade do Serviço de Distribuição.** 2000. 157 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2000.