

Análise dos Perfis de Tensão e Fator de Potência utilizando SINAPgrid para o campus da Universidade Federal do Acre

Gabriel M. Guilherme* Wanderley A. de Castro Júnior*
Júlio B. de Souza** Ronaldo F. R. Pereira* Eduardo C. M. Costa***
José H. A. Monteiro*

* *Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas - CCET, Universidade Federal do Acre - UFAC. Rio Branco, AC, Brasil, (gabrielmguilherme@gmail.com, wanderley.junior@ufac.br, ronaldo.pereira@ufac.br, humberto.monteiro@ufac.br).*

** *Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, Brasil, (julio.borges@unesp.br).*

*** *Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos - PSI, Universidade de São Paulo - USP. São Paulo, SP, Brasil, (educosta@usp.br).*

Abstract: The main objective of power electric systems is to provide the necessary energy at a satisfactory quality level. Power networks undergo various alterations through time, and as such its characteristics change along with it when compared to their early states. When dealing with distribution networks, it is important to reassure that those modifications do not harm the network's voltage level, which can lead to an increase in technical energy losses. In this context, this paper attempts to emulate the power network belonging to the Rio Branco campus of Federal University of Acre, simulating its power flow with the help of a software called SINAPgrid. The adopted methodology involves the use of Geographic referenced coordinates for each power pole belonging to the campus distribution system. The representation of each component that compose the system were made taking into account real characteristics observed on the equipment, such as nominal values for the transformers and measurements recorded with a load analyzer in different locations throughout the university, as to obtain a real reference for the average power factor verified. All the done procedures to use the SINAPgrid software and execute the simulations, testing different scenarios with varying degrees of demand from the transformers, is described along with two possible actions to be taken and their respective outcomes, as to try to improve the voltage and power factor levels in the case studied.

Resumo: Sistemas elétricos de potência têm como objetivo principal fornecer a energia elétrica demandada com um nível de qualidade satisfatório. Ao longo do tempo, porém, redes elétricas sofrem modificações, alterando seus parâmetros quando comparados aos que foram verificados inicialmente. Para redes de distribuição, é importante garantir que tais alterações não venham a prejudicar o perfil de tensão da rede, o que pode acarretar em um aumento nas perdas técnicas. Neste contexto o trabalho busca executar uma modelagem da rede elétrica de distribuição do campus Rio Branco da Universidade Federal do Acre, recorrendo à simulação do seu fluxo de potência com o auxílio do software SINAPgrid. Desta forma, a metodologia adotada envolveu o uso de coordenadas georreferenciadas dos postes componentes da rede aérea do campus. A representação dos elementos existentes na mesma deu-se a partir de características reais verificadas nos aparelhos, tais quais valores nominais de transformadores e medições realizadas com um analisador de carga em blocos da universidade para se obter uma referência real do fator de potência médio adotado. Todo o processo de uso do programa e da realização das simulações, utilizando diferentes cenários de uso dos transformadores, é descrito, bem como duas possíveis ações a serem tomadas e quais seus possíveis impactos para a melhoria dos perfis de tensão e fator de potência do caso estudado.

Keywords: Power Flow; Power Factor; Voltage Profile; Medium Voltage Grid; Capacitor Bank.

Palavras-chaves: Fluxo de Potência; Fator de Potência; Perfil de Tensão; Rede de Média Tensão; Banco de Capacitor.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por energia elétrica, por vezes distante do ponto de geração, torna latente a necessidade de melhorias no sistema elétrico objetivando suprir todos os consumidores. Neste sentido, os setores de geração e transmissão deparam-se com duas opções principais: criar mais usinas ou reduzir a perda de energia em razão de diversos fatores, melhorando a eficiência no consumo da energia já produzida.

Estudos referentes à qualidade de energia são constantemente realizados, que engloba a avaliação de certos parâmetros nas etapas de geração, transmissão e distribuição. No Brasil, tais indicadores são propostos e analisados pela Agência Nacional de energia elétrica (Aneel) para garantir que o consumidor receba um produto com um índice de qualidade, que apresente riscos mínimos para os equipamentos conectados à rede elétrica (ANEEL, 2007). Um dos indicadores de qualidade de energia comumente analisado é o fator de potência da rede. Com foco na etapa de distribuição, este trabalho busca apresentar uma análise do perfil de tensão da rede elétrica do campus sede Rio Branco da Universidade Federal do Acre (UFAC), a fim de que seja feita a modelagem da mesma. Medidas sugeridas serão reproduzidas em sistema computacional e, então, realizadas as análises de suas respectivas viabilidades. Também serão apresentadas definições que descrevem uma boa qualidade de energia elétrica na rede, de forma a destacar problemas apresentados pela UFAC, ou mesmo associados ao método de uso de bancos de capacitores para o ajuste do fator de potência e correção do perfil de tensão. Os modelos que servirão de análise serão construídos principalmente com o auxílio do software SINAPgrid, o qual será capaz de reproduzir, dadas as informações corretas a partir do que será levantado ao longo do trabalho, o fluxo de potência da rede estudada.

2. POTÊNCIA EM CORRENTE ALTERNADA E FLUXO DE POTÊNCIA

Em sistemas de corrente alternada com cargas lineares é necessário lidar apenas com potência ativa, definida como aquela capaz de produzir trabalho. No entanto, ao considerar os elementos reativos inseridos no sistema, tem-se um atraso ou adiantamento de fase entre a corrente e a tensão devido ao armazenamento de energia nestes elementos. Neste caso, há o retorno da energia armazenada para a fonte.

2.1 Fator de potência

O fator de potência expressa a quantia de potência ativa em relação à potência aparente produzida. Quanto mais próximo do valor unitário, maior é a quantia de ativos em relação aos reativos, e mais eficiente é o uso da potência total gerada. Tal índice é calculado pela razão da potência ativa e da potência aparente. No Brasil, o valor estipulado pela Aneel para o fator de potência mínimo das unidades consumidoras existe a tarifação de potência reativa é de 0,92, penalizando as unidades que violarem este valor (ANEEL, 2012).

2.2 Fluxo de potência

O estudo do fluxo de potência, ou fluxo de carga, de uma rede permite executar uma análise da mesma através de um circuito que a represente. Das informações que um cálculo de fluxo de potência pode obter, destacam-se o módulo e fase das tensões nas barras, bem como as potências ativa e reativa (Kagan et al., 2005). Tal análise permite ainda realizar diferentes averiguações, tais quais estabilidade, carregamento das linhas, cálculo de perdas e possíveis desequilíbrios apresentados. Pode também servir para planejamento de redes, operações ou mesmo alocações de novos elementos (Saadat et al., 1999; Kagan et al., 2005). Formas de calcular estes parâmetros podem ser realizadas utilizando as formulações contidas em (Monticelli, 1983).

3. MODELAGEM DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO NO SINAPGRID

Com objetivo de realizar uma análise de tensão e do comportamento de redes de distribuição. Pretende-se simular o comportamento atual da rede e, então, repetir o procedimento com modificações aplicadas, permitindo uma visualização dos impactos decorrentes das medidas tomadas. Realizar a simulação, com a adição de capacitores para regulação de tensão proporcionará informações acerca de como o uso de unidades capacitivas pode afetar, na prática, o comportamento da rede. Utilizando dados de georeferenciamento, com o auxílio de software QGIS (Quantum Geographic Information System), foi construída uma planta apresentada na Figura 1, onde encontram-se representados todos os componentes do sistema estudado.

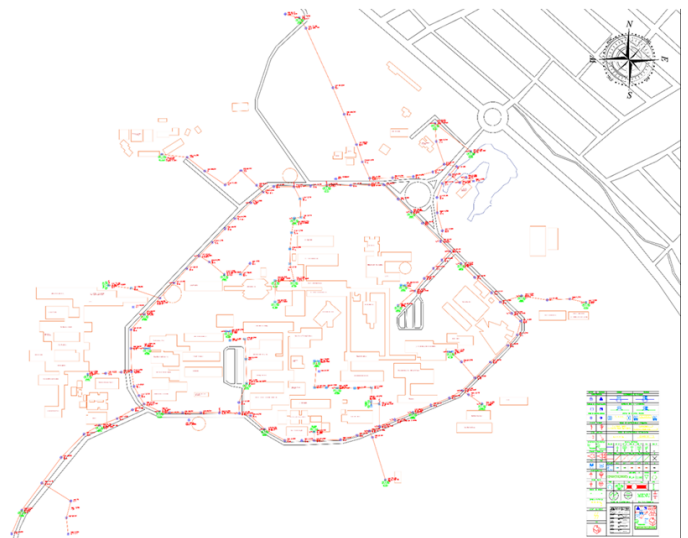


Figura 1. Planta contendo blocos e estruturas da rede de distribuição do campus sede Rio Branco da UFAC.

A estrutura da rede em estudo é composta de 147 postes e 35 transformadores registrados (Trindade, 2019), as potências e quantidades referentes aos transformadores se encontram especificadas na Tabela 1.

Após obtidas as informações dos valores nominais dos transformadores conectados à rede elétrica, foi construída

Tabela 1. Quantidade de transformadores de acordo com sua potência nominal.

| Potência (kVA) | Quantidade |
|----------------|------------|
| 30 | 7 |
| 45 | 4 |
| 75 | 6 |
| 112,5 | 3 |
| 150 | 8 |
| 225 | 6 |
| 300 | 1 |
| Total | 35 |

um diagrama unifilar apresentado na Figura 2, onde consta as características dos mesmos e distâncias correspondentes entre eles.

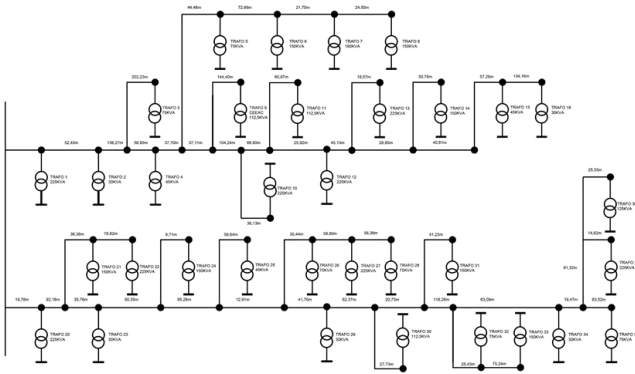


Figura 2. Diagrama unifilar simplificado da rede de distribuição em estudo.

4. ESTUDO DE CASO

Com o intuito de realizar simulações para três casos distintos, foram salvos três arquivos diferentes, cada um com os devidos valores de potência ativa e reativa em suas cargas conforme serão apresentados posteriormente. Os perfis de tensão e fator de potência serão verificados utilizando a ferramenta “Mapas temáticos”. Nesta, é possível analisar o comportamento da tensão ou do fator de potência de acordo com a distância percorrida em um determinado caminho entre dois pontos. A mesma simulação será repetida para cada caso analisado, utilizando os mesmos percursos. Foram determinados dois caminhos distintos, ambos partindo da Subestação do Tangará (subestação abaixadora 69/13.8 kV), até um ponto próximo da chave seccionadora. É importante lembrar que o barramento da subestação do Tangará se encontra fisicamente distante 1402,24 m em linha reta. Este será o ponto inicial de ambos os caminhos.

Os trechos pelos quais os dois trajetos maiores serão traçados são apresentados nas Figura 3 e 4. Foram realizadas simulações com carga leve, média e pesada. Na situação de carga leve foram consideradas cargas de FP = 0,8566 com potência nominal igual a 60 % do valor do seu respectivo transformador. Na carga média, a simulação ocorreu de forma análoga ao caso anterior, seguindo o mesmo procedimento lógico, porém com as cargas possuindo um fator de uso de 80 % do valor nominal dos transformadores. Para carga pesada, foi considerado um fator de uso de 100 % da capacidade nominal dos transformadores.

4.1 Perfis de tensão e fator de potência no primeiro trecho

É possível observar, nas Figura 5 e 6, a variação de tensão e fator de potência ao longo do percurso nos três casos

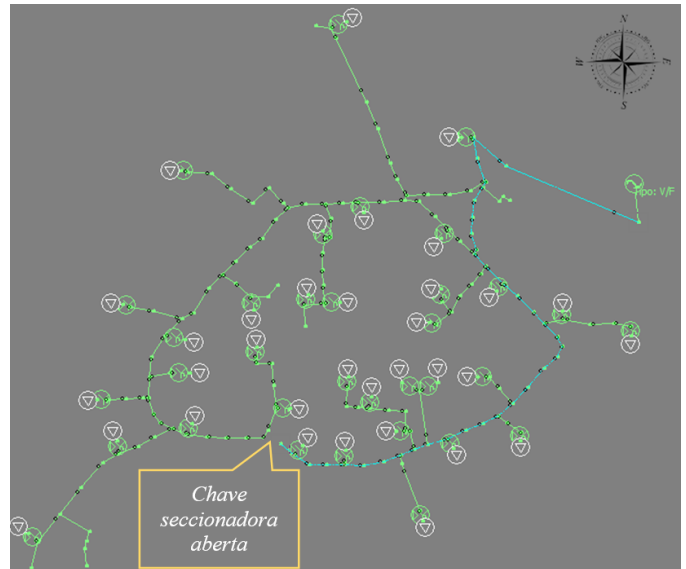


Figura 3. Primeiro caminho adotado na análise da rede de distribuição primária da UFAC.

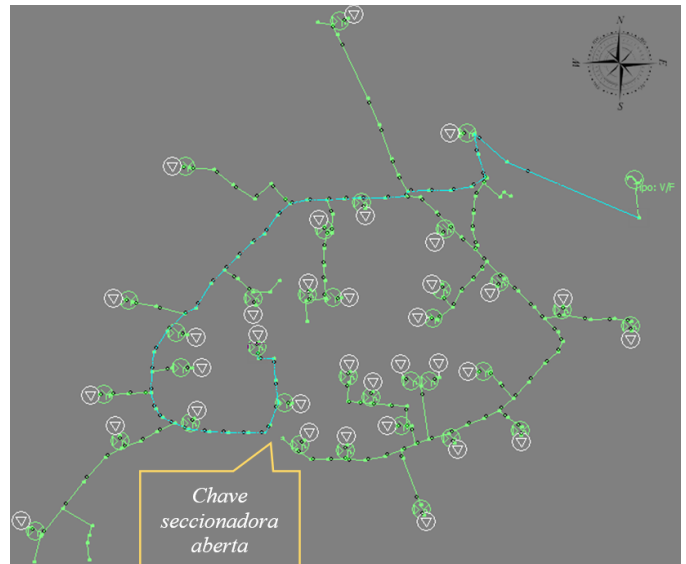


Figura 4. Segundo caminho adotado na análise da rede de distribuição primária da UFAC.

simulados, com cada barramento sendo representado por seu respectivo ponto.

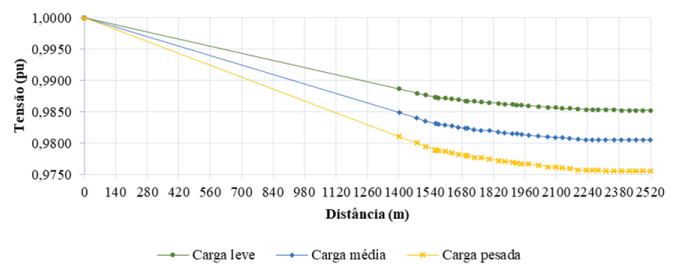


Figura 5. Perfil de tensão do primeiro caminho quanto ao uso da carga.

A partir da Figura 5, observou-se que não há uma alteração significativa dos níveis de tensão. A tensão apresenta maior queda antes do primeiro barramento dentro do campus, porém o valor final mais baixo obtido é de 97,56 % da tensão de entrada em carga pesada.

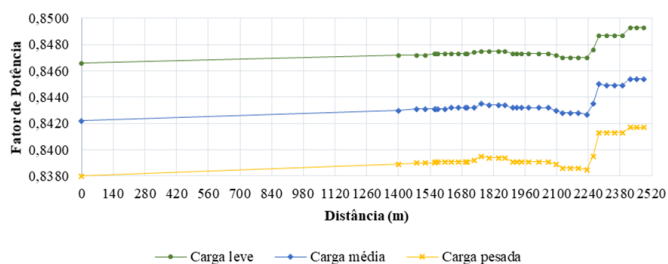


Figura 6. Perfil de fator de potência do primeiro caminho quanto ao uso da carga.

A partir da Figura 6, observou-se que o fator de potência possui variação pouco significativa, com a maior faixa de valores, no caso de carga pesada, apresentando diferença menor que 0,004. Vale ressaltar, que embora todos os elementos estejam funcionando de forma adequada em carga leve e média, o fator de potência ainda varia em valores próximos a 0,85, o qual é considerado baixo, segundo padrões da Aneel. Embora o FP utilizado para as cargas seja por si só um valor considerado baixo, é importante ressaltar que a base utilizada para a adoção do mesmo foi tirada de medições reais realizadas dentro do campus.

4.2 Perfis de tensão e fator de potência no segundo trecho

As Figura 7 e 8, apresentam a variação de tensão e fator de potência ao longo do segundo percurso nos três casos simulados, com cada barramento sendo representado por seu respectivo ponto.

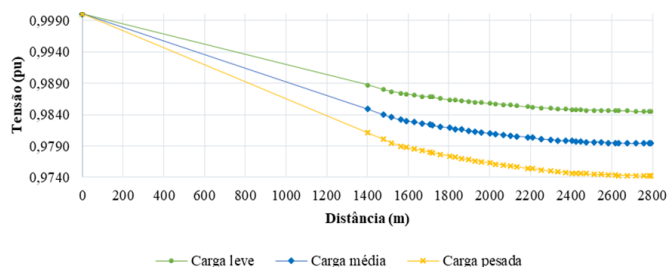


Figura 7. Perfil de tensão do segundo caminho quanto ao uso da carga.

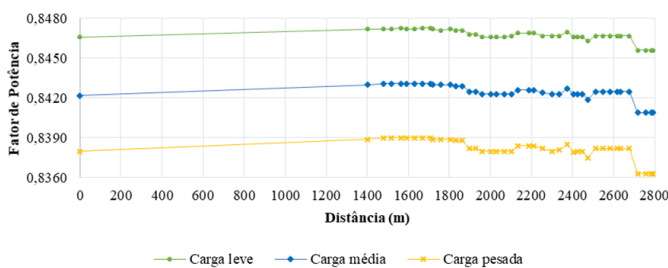


Figura 8. Perfil de fator de potência do segundo caminho quanto ao uso da carga.

A partir das características descritas nas Figura 7 e 8, encontram-se resultados semelhantes ao primeiro trecho. A curva do FP possui formato diferente, embora novamente a variação de valores novamente seja pequena. No que se refere a carga pesada, existe maior queda de tensão e menor fator de potência. Quando comparado ao primeiro trajeto, a queda de tensão é mais elevada, embora a diferença não venha a ser tão significativa. Esse comportamento é esperado, uma vez que este caminho mede 2793,7 m, sendo maior que o primeiro, de 2519,7 m.

4.3 Cenário com chave seccionadora fechada

Para a análise dos perfis de tensão e fator de potência, serão utilizados os mesmos dois trajetos distintos anteriores, com as cargas tendo taxa de utilização média (80 %). Uma vez exportados os dados, é possível comparar o comportamento do primeiro trecho com a chave aberta e fechada. As Fig. 9 e 10 apresentam as curvas referentes ao primeiro trecho.

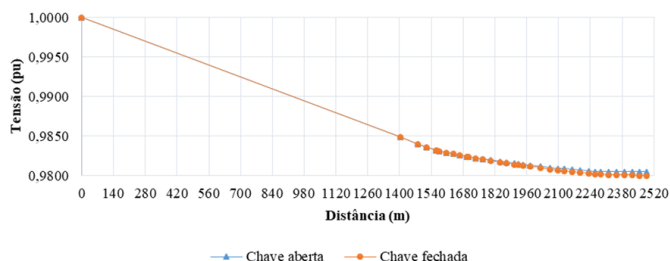


Figura 9. Perfil de tensão do primeiro caminho quanto à chave seccionadora.

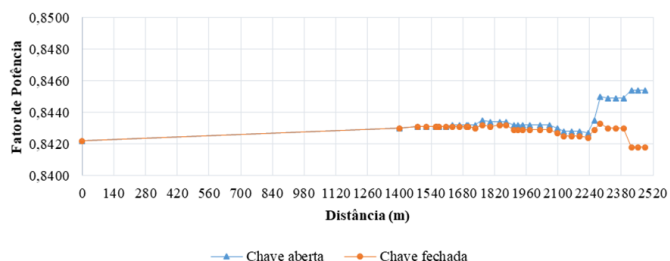


Figura 10. Perfil de fator de potência do primeiro caminho quanto à chave seccionadora.

As Figura 11 e 12 apresentam as curvas referentes ao segundo trecho.

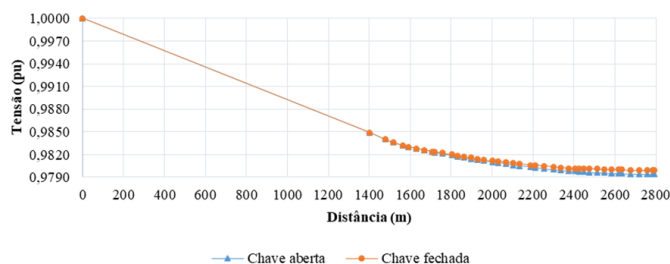


Figura 11. Perfil de tensão do segundo caminho quanto à chave seccionadora.

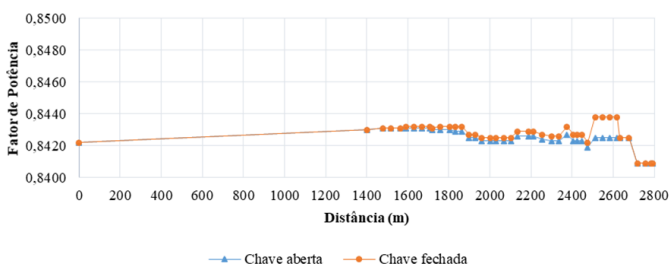


Figura 12. Perfil de fator de potência do segundo caminho quanto à chave seccionadora.

Constatou-se algumas pequenas diferenças entre os resultados obtidos, como a curva de fator de potência e uma maior queda de tensão. Ainda assim, não há nenhuma alteração significativa, uma vez que as diferenças entre os valores das situações foram muito baixas.

4.4 Cenário com alocação de capacitores

Retornando à rede de média carga com chave aberta, a segunda proposta trata de alocar bancos de capacitores na mesma. Para isto será utilizada a ferramenta denominada “Alocação de Capacitor”. É possível também fornecer diferentes números de capacitores com valores de potência reativa distintos, assemelhando-se a um possível inventário real.

Para esta demonstração, o fator de potência mínimo configurado será 0,92, sem limitação de distância entre as unidades e limite de potência reativa de 10 MVar. O caso analisado contará com um inventário de 20 unidades, cada uma de 50 KVar.

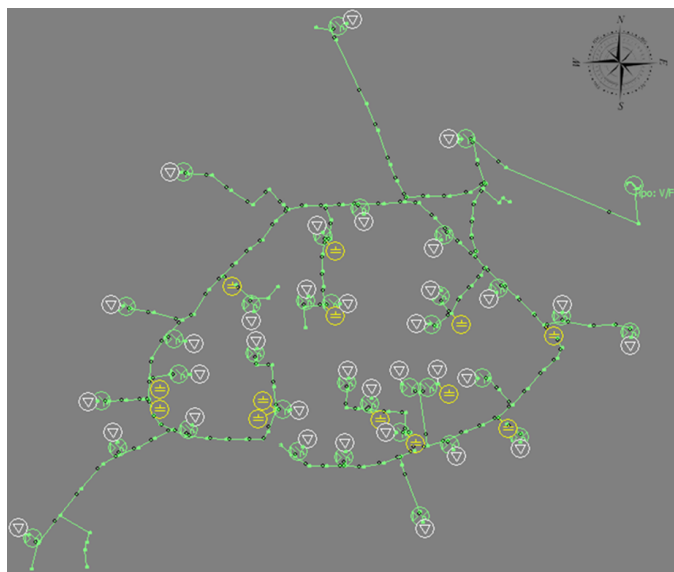


Figura 13. Fluxo de carga da rede de distribuição primária da UFAC em carga média com alocação de capacitores.

Foram realizadas as medições com os mesmos percursos anteriores para verificar os perfis da nova rede adquirida. Será repetido, então, o processo de exportação de dados, em que poderá ser comparado o cenário simulado em média carga antes e depois dos capacitores serem alocados, o fluxo de carga da nova rede com alocação de capacitores é apresentado na Figura 13. As Figura 14 e 15 apresentam as curvas referentes ao primeiro trecho.

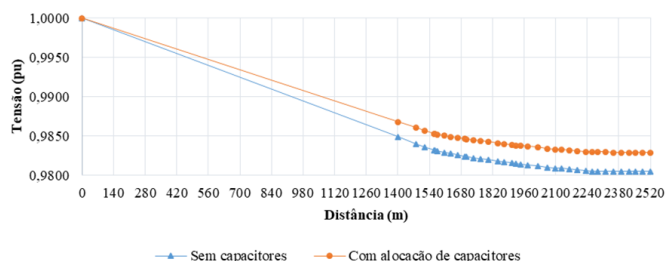


Figura 14. Perfil de tensão do primeiro caminho quanto ao uso de capacitores.

Observando as Figura 14 e 15, é fácil perceber a diferença causada pela atuação dos bancos de capacitores, cumprindo a função almejada por estes: correção do fator de potência e melhoria do perfil de tensão. O perfil de tensão, embora tenha sido aprimorado com a redução da queda de tensão apresentada, ainda mostra uma pequena melhora, com alterações de apenas milésimos de pu, o que representaria uma melhoria menor que 0,3 % da mesma.

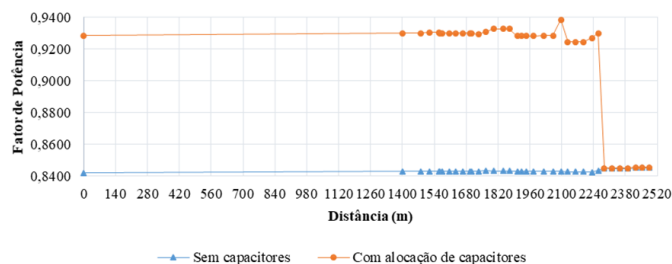


Figura 15. Perfil de fator de potência do primeiro caminho quanto ao uso de capacitores.

Por outro lado, é possível notar que o fator de potência possui alterações significativas de um caso para o outro, com os capacitores cumprindo sua função de elevar o fator de potência da rede aos parâmetros colocados.

As Figura 16 e 17 apresentam as curvas referentes ao segundo trecho.

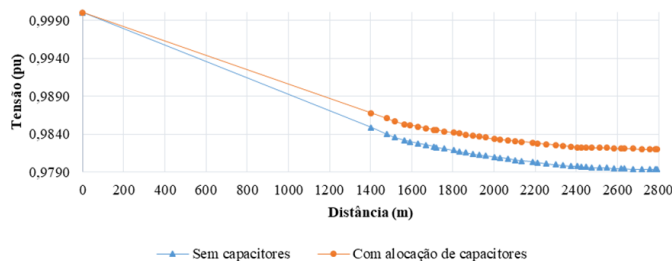


Figura 16. Perfil de tensão do segundo caminho quanto ao uso de capacitores.

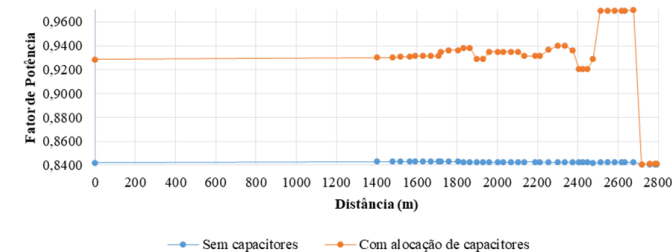


Figura 17. Perfil de fator de potência do segundo caminho quanto ao uso de capacitores.

Tabela 2. Perdas técnicas na rede.

| | Energia injetada (kWh) | Perdas (kWh) | IPTS (%) | PPT (%) |
|----------------------------|------------------------|--------------|----------|---------|
| Carga Leve | 47520,34 | 972,106 | 1,339 | 2,046 |
| Carga Média | 62955,149 | 1467,052 | 1,797 | 2,33 |
| Carga Pesada | 78238,909 | 2103,401 | 2,259 | 2,688 |
| Carga Média c/ capacitores | 62944,38 | 1264,38 | 1,475 | 2,009 |

Da Figura 17, foi observado que o limite mínimo do fator de potência de 0,92 é obedecido até onde há a atuação direta dos bancos na rede. Desta vez, em certos pontos, o FP chega próximo de 0,97, apresentando características ainda melhores que o do primeiro trecho, onde nenhuma barra mostrou fator de potência acima de 0,95. Entretanto, ao se analisar o perfil de fator de potência é notória a melhoria que a adoção de bancos de capacitores representa para o sistema. A queda na curva após certo ponto se dá ao fato de o caminho ir além de pontos onde os bancos foram alocados.

5. PERDAS TÉCNICAS

Para esta etapa, será utilizada a ferramenta de perdas técnicas do programa SINAPgrid, que analisa a energia injetada e o total que é perdido, seja nos cabos, medidores

ou outros equipamentos. Como não foram incluídos medidores nesta simulação, as perdas se tratarão basicamente das verificadas nos cabos e transformadores. A Tabela 2 apresenta as perdas técnicas na rede.

6. CONCLUSÕES

A alocação de capacitores permitiu notória melhoria quando comparado ao primeiro caso. A queda de tensão é reduzida quando comparado ao caso base sem os bancos capacitivos, e o perfil de fator de potência mostra grande melhoria, trazendo resultados satisfatórios na correção do FP do sistema. Ao se comparar as duas simulações, verifica-se que as perdas caem de 1467,052 kWh (sem capacitores) para 1264,380 kWh (com capacitores), apresentando uma redução de 202,672 kWh. Para a unidade consumidora analisada esta redução não foi considerada significativa o suficiente, tornando assim o processo inviável.

Outra etapa a qual o projeto se propôs a verificar foi a presença de problemas notórios no comportamento da rede elétrica. Nas simulações de caso base, nenhum elemento presenciou algum tipo de situação de operação grave, o que levou a concluir que não será necessário adotar nenhuma medida de correção imediata na mesma.

Deve-se ter em mente também, ao observar os resultados mostrados pelas simulações, que estas tiveram restrições. Buscou-se realiza-las da forma mais fiel possível ao modelo real, com as informações adquiridas até o momento de desenvolvimento deste trabalho. Na prática, porém, alguns comportamentos diferenciam-se do verificado por sua natureza não ideal e mais complexa do que o levado em conta.

Destes aspectos, destaca-se o fato de que os transformadores deveriam ser medidos com um analisador de carga que defina seu comportamento. Nos resultados obtidos, levaram-se em conta cargas concentradas nos respectivos secundários de cada estação transformadora, representando uso equivalente à potência nominal do seu respectivo transformador. As taxas de uso foram adotadas de forma a ver três cenários constantes distintos de exigência dos transformadores, enquanto um modelo real possui uma variação ao longo do tempo.

O presente trabalho teve como principal contribuição o fornecimento de subsídios para alterações da rede a partir do conhecimento e modelagem da mesma em ferramentas computacionais conforme apresentado. Isso permite um bom monitoramento para posteriores planejamentos e modificações de suas configurações dentro do campus da universidade, sendo que este projeto pode ser estendido para outros tipos de rede.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -CAPES, pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPq (408681/2016-0) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo-FAPESP (2019/05381-9).

REFERÊNCIAS

ANEEL (2012). Resolução normativa portaria nº 414 de 09 de setembro de 2010-condições gerais de fornecimento. *Accessad@em*, 12(03).

ANEEL, P.d.D.d.E. (2007). Elétrica no sistema elétrico nacional-prodist: Módulo 8-qualidade de energia elétrica. *Revisão*, 5, 76.

Kagan, N., De Oliveira, C.C.B., and Robba, E.J. (2005). *Introdução aos sistemas de distribuição de energia elétrica*. Editora Blucher.

Monticelli, A.J. (1983). *Fluxo de carga em redes de energia elétrica*. E. Blucher.

Saadat, H. et al. (1999). *Power system analysis*, volume 2. McGraw-hill.

Trindade, T.B. (2019). Georreferenciamento da rede de distribuição elétrica da universidade federal do acre – campus rio branco. *Universidade Federal do Acre*.