

Evento: XXII Jornada de Pesquisa

ANÁLISE DA QUALIDADE DA COMUNICAÇÃO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO DE SUBESTAÇÕES SUBTERRÂNEAS DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO USO DA REDE GSM/GPRS¹
QUALITY ANALYSIS OF A MONITORING SYSTEM FOR AN UNDERGROUND POWER SUBSTATIONS UTILIZING THE GSM/GPRS NETWORK

Taciana Paula Enderle², Leonardo Bressan Motyczka³, Airam Sausen⁴, Paulo Sérgio Sausen⁵

¹ Projeto Institucional desenvolvido no Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, pertencente ao Grupo de Automação Industrial e Controle

² Aluna do Curso de Doutorado em Modelagem Matemática da UNIJUI, taciana.enderle@gmail.com

³ Aluno do Curso de Mestrado em Modelagem Matemática da UNIJUI, bolsista CAPES, leomoty@gmail.com

⁴ Professora Doutora do Departamento de Ciências Exatas em Engenharias, Orientadora, airamsausen@gmail.com

⁵ Professor Doutor do Departamento de Ciências Exatas em Engenharias, Orientador, paulosausen@gmail.com

Resumo: As redes de distribuição de energia subterrâneas estão tornando-se cada vez mais comuns e utilizadas, tanto pela segurança como pela forma de amenizar a poluição visual que as redes tradicionais (aéreas) produzem. Devido as suas características de instalação e operação, estas redes, necessitam de constante manutenção e supervisão. É neste sentido, que sistemas de monitoramento e supervisão passam a ser de grande valia para este segmento. Neste trabalho, é apresentada a avaliação do uso da comunicação Global System for Mobile Communications/General Packet Radio Services (GSM/GPRS) em um sistema de monitoramento da Companhia Estadual de Energia Elétrica do Estado do Rio Grande do Sul (CEEE/RS). São realizadas uma série de experimentos visando analisar se o meio de comunicação e a operadora de telefonia escolhida para dar suporte ao sistema de monitoramento da companhia suporta a frequência necessária para que a tomada de decisões, por parte da central de operações, atue de forma satisfatória quando da ocorrência de um determinado evento.

Abstract: Power substation networks are becoming increasingly common, this is in no small part due to the increased safety and minimized visual pollution over traditional aerial systems. However, monitoring and supervision systems become highly relevant given its install and operational characteristics - it requires constant maintenance and supervision. This paper demonstrates an evaluation of the communication protocol Global System for Mobile Communications/General Packet Radio Services (GSM/GPRS) in a monitoring system for the State Power Company of the Rio Grande do Sul (CEEE/RS). A series of tests were created to analyze the communication protocol and telephone carriers to support the monitoring system. Sufficient data will allow a network operations center to make rapid decisions on how to react to unexpected

Evento: XXII Jornada de Pesquisa

service disruptions.

Palavras-chave: Monitoramento de Subestações, GSM, Manutenção Preventiva.

Keywords: Power Substation Monitoring, GSM, Preventive Maintenance.

1 INTRODUÇÃO

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) atua constantemente na fiscalização dos níveis da qualidade de energia do setor elétrico brasileiro, e, em casos de inconformidades, aplica as devidas penalidades. O Módulo 8 do PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional) caracteriza os fenômenos de qualidade de energia, estabelecendo os critérios de amostragem, os valores de referência e os procedimentos relativos às qualidades do produto e do serviço (Aneel, 2011).

Com o objetivo de garantir tanto a qualidade do produto como dos serviços, os sistemas elétricos precisam ser robustos e confiáveis, e ainda, para assegurar periodicidade dos serviços a rede elétrica deve passar constantemente por manutenções e avaliações, permitindo que estas informações sejam utilizadas para evitar possíveis falhas e/ou faltas. Para atender esta necessidade, o surgimento de novas tecnologias vem sendo um forte aliado, uma vez que permite tornar os sistemas inteligentes e automatizados.

Dentre os tipos de redes de distribuição de energia elétrica destaca-se as Redes Subterrâneas, estas apresentam características peculiares, tanto de instalação quanto de manutenção, pois o ambiente torna-se insalubre e perigoso. Porém, em grandes centros urbanos apresentam vantagens intrínsecas aos elementos visuais do ambiente, pois tanto os transformadores e cabos não são visíveis, além dos elevados níveis de qualidade, continuidade e confiabilidade da rede.

Neste contexto, considerando que o ambiente de instalação do sistema de monitoramento é hostil, e ainda que a topologia aplicada é geograficamente distribuída, o principal objetivo deste artigo é realizar uma análise da comunicação dos dados entre as subestações subterrâneas da Companhia Estadual de Energia Elétrica do Estado do Rio Grande do Sul (CEEE/RS) e a central de operações. Ou seja, verificar a qualidade e a periodicidade das informações enviadas, através da utilização de um evento corriqueiro que é a inundação das câmaras subterrâneas em determinados períodos do ano.

O Brasil iniciou a utilizar a energia elétrica em 1879, na mesma época que a Europa e o Estados Unidos. A primeira rede reticulada de baixa tensão em corrente alternada foi instalada no ano de 1907, no estado do Tennessee nos Estados Unidos, onde alimentadores primários chegavam através de valas até os transformadores que eram interligados em uma malha de cabos de baixa tensão protegida por fusíveis (Barreto, 2010).

O sistema network, também conhecido como sistema reticulado, é um sistema de distribuição em baixa tensão, e possui um conjunto de transformadores cujos secundários são interligados em paralelo, suprindo a carga. Essa topologia permite que o fornecimento de eletricidade se

Evento: XXII Jornada de Pesquisa

mantenha mesmo que um ou mais transformadores saiam de serviço, desde que a potência total dos transformadores remanescentes seja igual ou superior a demanda drenada pelas cargas, além disso, permite a melhoria da característica de tensão secundária (Gouvêa, 2004).

Durante a Segunda Guerra Mundial aconteceu um grande salto no desenvolvimento de materiais e redes subterrâneas em áreas essenciais para atendimentos. Nesta época se desenvolveram também os primeiros transformadores para instalação sob as ruas, o transformador de pedestal e as cabines metálicas instaladas ao nível do solo para abrigar equipamentos de seccionamento e proteção, trazendo mais flexibilidade, confiabilidade e relativo baixo custo (Nakaguishi, 2011).

No Brasil, a Concessionária de Distribuição de Energia Elétrica do Estado do Rio de Janeiro (LIGHT) foi a pioneira em Redes Subterrâneas, em 1908, transformava uma parte de sua rede aérea para subterrânea (Azevedo, 2010), já no Rio Grande do Sul, a Rede Subterrânea de Porto Alegre teve início em 1930.

As redes de distribuição subterrâneas representam uma alternativa vantajosa para aplicações em sistemas de distribuição em grandes centros urbanos, os quais são caracterizados por possuírem grandes concentrações de carga e necessitarem de elevados níveis de qualidade, continuidade e confiabilidade no abastecimento de eletricidade (Giacomini, 2012).

O sistema reticulado é projetado para suportar a perda de alimentadores sem interrupção do fornecimento de energia. Além disso, existe uma reserva de capacidade que é estipulada a nível de projeto, de forma que quando ocorrer o desligamento de alimentadores, outro transformador arcaria com toda a carga da subestação por um período de tempo, ou seja, até que o problema seja localizado e solucionado (Barreto, 2010).

Considerando a cobrança precedente da ANEEL quando se fala em fornecimento de energia, a busca de um abastecimento de energia elétrica com confiabilidade é de grande importância, uma vez que evita possíveis penalidades do órgão regulador em caso de falhas. Neste sentido, o sistema reticulado é projetado para suportar a perda de alimentadores sem interrupção do fornecimento de energia. Além disso, existe uma reserva de capacidade que é estipulada durante o projeto, desta forma quando ocorre o desligamento de alimentadores um transformador arcaria com toda a carga da subestação por um período de tempo, ou seja, até que o problema seja localizado e solucionado (Barreto, 2010).

Conhecendo a taxa de defeitos das peças, equipamentos ou sistemas, aliado com a substituição prematura das peças e componentes antes que envelheçam a ponto de ter risco de mal funcionamento, chega-se na definição do conceito de manutenção preventiva (Lima, 2006). Neste sentido, pode-se afirmar que é de fundamental importância o monitoramento em tempo real de uma subestação subterrânea. Através deste é possível minimizar inundações, superaquecimento, falha no sistema de proteção, alterações na pressão e até de roubos.

Além disso, é necessário garantir a periodicidade e a veracidade dos dados enviados para que sistema de monitoramento seja benéfico e efetivo, ou seja, é importante uma análise do comportamento da comunicação de dados e se ela é uma opção viável para realizar esta

Evento: XXII Jornada de Pesquisa

transmissão.

2 METODOLOGIA

Os dados obtidos são provenientes de um Sistema de Monitoramento de Subestações de Energia Elétrica desenvolvido em parceria com a Companhia Estadual de Energia Elétrica do Rio Grande do Sul (CEEE/RS). O sistema reticulado é instalado na região central de Porto Alegre, sendo alimentado com tensões primárias de 13,8 kV e tensões secundárias de 127/220 V. Sendo composto por transformadores de 500 kVA, submersíveis, alojados em câmaras subterrâneas sob o leito das ruas.

Neste sentido, se faz necessário obter um conjunto de subestações cujos os efeitos da transmissão possam ser isolados de outras situações como: falta, falha no hardware instalado, entre outros. Ou seja, um conjunto de subestações subterrâneas instaladas que estejam completamente operacionais pelo período desejado. Permitindo a análise da comunicação utilizada para entregar os dados até o servidor central, que no caso do sistema avaliado é a comunicação GSM/GPRS fornecida por uma empresa do ramo de telecomunicações, denominada neste artigo de Operadora A.

As grandezas monitoradas pelo sistema basicamente são: corrente no primário, tensão e a corrente no secundário, temperatura da carcaça do transformador, temperatura ambiente, bombas (on/off), ventiladores (on/off), indicadores luminosos do transformador, alagamento e a entrada de intrusos. Todas estas informações podem ser monitoradas pelo centro de operações da CEEE a partir de um sistema web, o operador possui acesso as informações coletadas 24 horas por dia, e, portanto, é capaz de agir de maneira proativa na identificação de irregularidades e encaminhar equipes de manutenção caso necessário. É possível a qualquer momento gerar gráficos com períodos determinados pelo operador, possibilitando a verificação de erros provenientes de irregularidades a partir de alarmes criados pelo administrador do sistema. Pode-se citar, como exemplo, o alarme de inundação que é acionado assim que o nível de alagamento dentro da subestação atinge um nível previamente configurado. Esta informação, como muitas outras, devem chegar até a central de monitoramento no momento de sua ocorrência para que sejam tomadas as devidas providências para evitar que qualquer problema, mais grave, ocasione a parada da subestação de energia e o conseqüente fornecimento de energia para a comunidade.

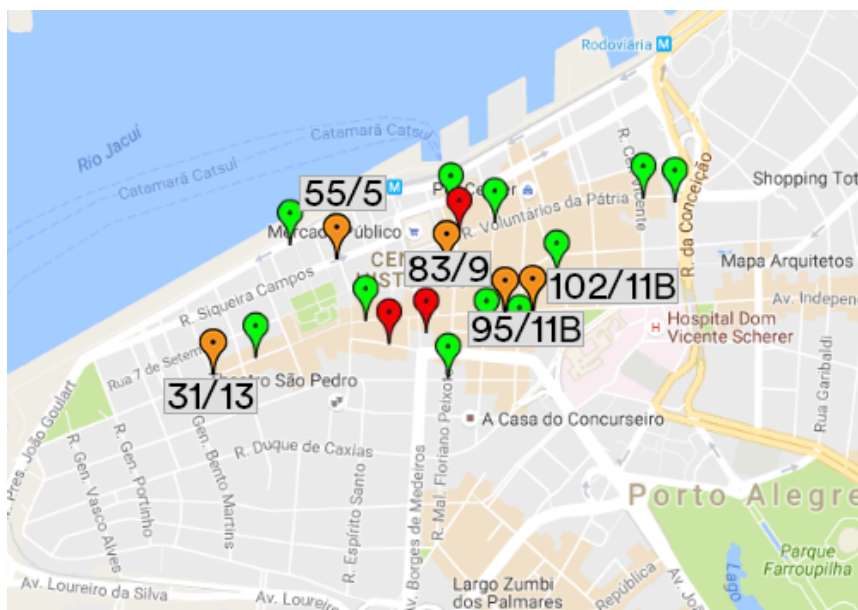
O sistema de monitoramento realiza uma aquisição e posterior transmissão, via modem GPRS, de um conjunto de várias grandezas a cada dez segundos. Após realizar a verificação da integridade do pacote, o mesmo será enviado via Socket para o servidor remoto. Em um cenário livre de erros seriam transmitidos e entregues 360 pacotes por hora (6 por minuto x 60 minutos) para cada subestação. O servidor por sua vez realiza a verificação do cabeçalho e o checksum para confirmar a integridade do pacote. Se o mesmo for considerado íntegro será armazenado no banco de dados. As subestações subterrâneas estão geograficamente distribuídas no centro de Porto Alegre/RS, como apresentado na Figura 1.

As condições de comunicação, topologia, número de clientes conectado por ERB (Estação de Rádio Base, antena de comunicação na rede GSM) não são fatores controláveis e, portanto, são

Evento: XXII Jornada de Pesquisa

desconsiderados neste artigo.

Figura 1: Subestações subterrâneas no centro de Porto Alegre.



Fonte: Próprio Autor (2017)

Na Figura 1 observa-se dois tipos de subestações: as vermelhas (fora de operação) e as verdes (em operação). Neste artigo serão consideradas apenas as subestações em operação (verdes). Como o sistema ainda está em fase de implantação, atualmente apenas 20 subestações estão sendo monitoradas, de um conjunto de 160 subestações. Dentro deste conjunto foram escolhidas 5 subestações que estão representadas em laranja na Figura 1 com seus respectivos identificadores. Optou-se por escolher um conjunto pequeno de subestações que estivessem completamente operacionais para facilitar a análise da comunicação ao mesmo tempo que as subestações escolhidas estão mais propensas a ocorrência do evento em questão que é a inundação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

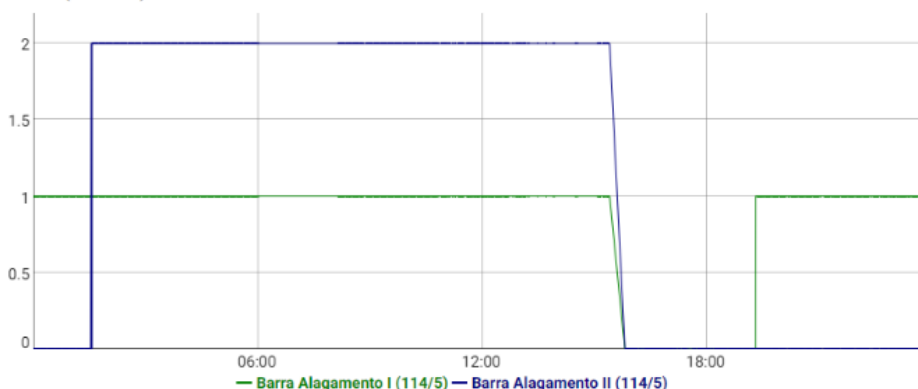
Como citado anteriormente, o sistema de monitoramento foi instalado na rede subterrânea da CEEE/RS, na região metropolitana de Porto Alegre. Para demonstrar a importância do monitoramento constante de subestações de energia elétrica, utilizou-se um evento real ocorrido e registrado pelo sistema de monitoramento. Dentre os vários sensores da subestação que são lidos pelo sistema, destaca-se o sensor que alagamento. O sensor possui dois níveis, mantendo-se com o contato aberto até que a coluna de água atinja a boia do respectivo nível, quando isto ocorre o contato é fechado apontando o alagamento de 15 e 55 centímetros (níveis 1 e 2).

Na Figura 2 pode-se observar o alagamento em uma subestação no dia 17/10/2016 entre 00:00 e 16:00. O primeiro nível já estava acionado e o segundo foi acionado as 01:34. Esta é uma altura

Evento: XXII Jornada de Pesquisa

líquido de crítica e, portanto, a bomba d'água deveria interagir para evitar danos materiais.

Figura 2: Evento de Alagamento.



Fonte: Próprio Autor (2017)

Um defeito em um dispositivo que serve para acionar a bomba d'água, a contatora, impediu que a bomba fosse acionada e assim não foi possível controlar o nível de água. Porém, o correto uso da informação adquirida pelo sistema de monitoramento possibilitou o envio uma equipe para contornar a situação antes que ocorressem danos aos equipamentos instalados na subestação em virtude desta falha.

Inicialmente os testes realizados abrangem o período de 24 horas para o conjunto de subestações definidas e apresentadas na Figura 1. O teste consistiu em contabilizar o número de amostras transmitidas neste período por subestação, agrupando-as por hora e calculando a frequência mínima e a máxima, a média para o período (no de amostras / 24 horas), conforme pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1: Frequências por subestação nos períodos.

Subestações	1 Dia				7 Dias			
	n	Max	Min	\bar{x}	n	Max	Min	\bar{x}
102/11B	7588	327	280	316.17	50713	327	171	301.86
95/11B	8473	359	319	353.04	57266	359	185	340.87
55/5	7477	320	279	311.54	50162	321	176	298.58
83/9	8430	360	302	351.25	55545	360	60	330.63
31/13	7546	322	287	314.42	50033	324	141	297.82

n é o número de amostras, Max e Min são os mínimos e máximos respectivamente e \bar{x} é a média.

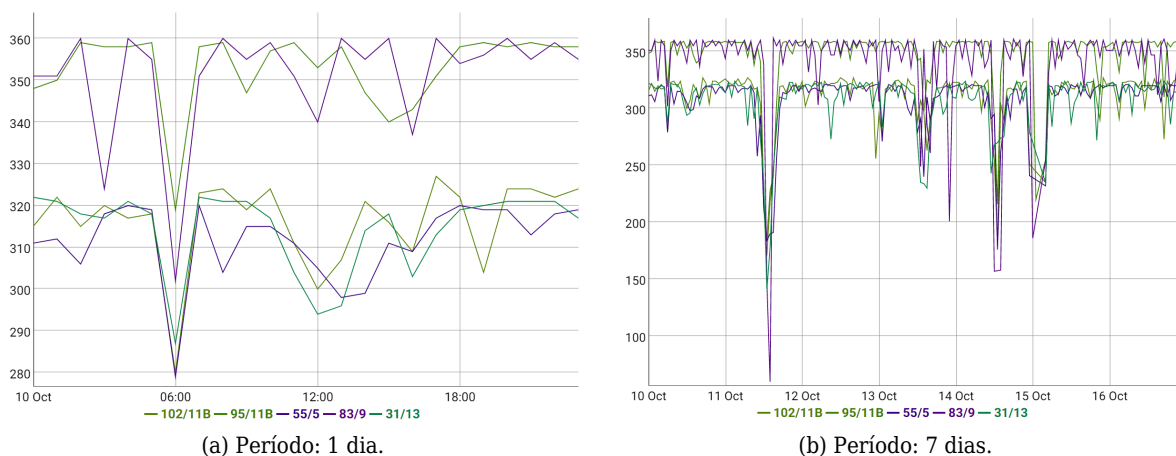
Fonte: Próprio Autor (2017).

Evento: XXII Jornada de Pesquisa

No período de 1 dia, com uma periodicidade de 10 segundos o throughput teórico é de 8640 pacotes entregues (6 por minuto * 60 minutos * 24 horas), este serve como referência para condições ideais de comunicação. Para os pontos de mínima e de máxima, a referência é equivalente a 360 pacotes (6 pacotes por minuto * 60 minutos). A média por sua vez é calculada a partir do (número de amostras) / (24 horas).

É possível analisar a relação entre a referência e a média, a mínima e a máxima. A diferença entre a referência e o obtido será considerado como o número de pacotes perdidos e, portanto, atribuído ao erro de comunicação da rede GSM/GPRS. O resultado compilado é apresentado na Tabela 1 para as 5 subestações observadas. Pode-se notar quão próximo os mínimos estão próximos da média, apresentando uma taxa de comunicação excelente comparando com a referência. Após o teste foi expandido para uma semana, todas as referências de comparação são as mesmas, exceto o número total de pacotes entregues no período de uma semana. Neste caso, o throughput teórico é de 60480 pacotes e a expectativa é de confirmar se existe similaridades entre os dois testes.

Figura 3: Número de pacotes transmitidos.



Fonte: Próprio Autor (2017)

Observando o período de 7 dias apresentados na Tabela 1 verifica-se que os valores de máxima e a média mantiveram o padrão dos dados relativos ao período de 1 dia. Porém, os valores de mínima apresentaram uma redução chegando na subestação 83/9 a 60. Estas informações podem ser melhor observadas na Figura 3b.

Os gráficos gerados pelo sistema, conforme Figura 3a e Figura 3b, permitem ainda observar que todas as subestações obtiveram seu pior resultado (mínima) na mesma hora. Tal situação pode ser atribuída a fatores não controláveis tais como: clima, carga de usuários, entre outros. Portanto, torna-se difícil quantificar sua relevância frente aos dados transmitidos.

Assumindo o pior caso, a taxa de transmissão mínima em uma hora, a Tabela 2 apresenta o

Evento: XXII Jornada de Pesquisa

percentual de pacotes perdidos entre os dois testes realizados. Quanto menor o percentual mais próximo do ideal se encontra o funcionamento da rede GSM/GPRS.

Tabela 2: Percentual de pacotes perdidos em relação a referência da mínima (360 pacotes).

Subestações	Mínima		Média	
	1 Dia	7 Dias	1 Dia	7 Dias
102/11B	22.22%	52.5%	12.17%	16.15%
95/11B	11.38%	48.61%	1.93%	5.31%
55/5	22.5%	51.11%	13.46%	17.06%
83/9	16.11%	83.33%	2.43%	8.15%
31/13	20.27%	60.83%	12.66%	17.27%
Total	18.49%	59.27%	8.53%	12.78%

Fonte: Próprio Autor (2017).

A subestação 95/11B apresenta os melhores resultados entre os dois testes, possuindo a menor perda de pacotes encontrada, já a 83/9 possui o pior desempenho na análise de 7 dias. Porém, a taxa de comunicação mínima é suficiente em ambos casos para auxiliar na tomada de decisão da dinâmica lenta dos sensores de alagamento instalados nas subestações da CEEE/RS.

Em média todas as subestações do conjunto observado possuem uma taxa de perda de pacotes baixa, como pode ser visto na Tabela 2. Tal característica mostra que a transmissão dos pacotes de dados é viável através da utilização de um modem GSM/GPRS. Mas devido a fatores não controláveis é observado a degradação do meio de comunicação insuflando o percentual de pacotes perdidos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo foi apresentado a avaliação da comunicação de dados de um sistema de monitoramento aplicado a redes subestações da Companhia Estadual de Energia Elétrica do estado do Rio Grande do Sul (CEEE/RS), este sistema de monitoramento permite que CEEE/RS acompanhe, em tempo real, dados das subestações subterrâneas, e permite através da manutenção preventiva, evitando falhas que poderiam danificar equipamentos, provocar falta no fornecimento de energia ou até mesmo possíveis acidentes.

Os resultados apresentados comprovam a eficiência do sistema de monitoramento de subestações para a dinâmica do funcionamento dos sensores de alagamentos. Visto que as mudanças de estados são lentas, mesmo a comunicação mínima obtida nos testes, é suficiente para informar o operador, que pode encaminhar uma equipe até o local para contornar o problema que um evento do tipo inundação pode acarretar a uma subestação de energia subterrânea.

Através das análises realizadas pode-se concluir que a transmissão dos pacotes de dados, utilizando um modem GSM/GPRS é viável, uma vez que todas as subestações do conjunto

Evento: XXII Jornada de Pesquisa

observado apresentaram uma taxa de perda de pacotes baixa. Porém, os fatores não controláveis, como o clima e o congestionamento da rede de telefonia, dificultam a quantificação e o impacto que cada fator exerce no processo, e assim resultando num aumento no percentual de pacotes perdidos.

Como trabalhos futuros, sugere-se que sejam realizados testes com o período ampliado. Além de tentar enumerar qual é a taxa de transmissão mínima necessária para auxiliar na tomada de decisões para outras grandezas adquiridas pelo sistema. Além disso, aplicar outras técnicas de análise como a mineração de dados.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, Fernando Araujo de. **Otimização de rede de distribuição de energia elétrica subterrânea reticulada através de algoritmos genéticos**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, 2010.

BARRETO, Gustavo de Andrade. **Estudo de viabilidade de um sistema de monitoramento de baixo custo para os sistemas de distribuição reticulados subterrâneo**. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Energia, 2010.

ELÉTRICA, Agência Nacional de Energia. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST: Modulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica**, 2011.

GIACOMINI, Julian; WUTTIG, Rafael; CAMPOS, Mauricio de; SAUSEN, Paulo Sergio. **Monitoramento de uma Subestação subterrânea de distribuição de energia elétrica utilizando uma rede de sensores inteligentes híbrida e PLC (Power Line Communication)**. Congresso Brasileiro de Automática, Campina Grande-PB, 2012.

GOUVÊA, Marcos Roberto; BELVEDERE, Ermírio César; OLIVEIRA, João José de; MASCIGRANDE, Paulo; BRUNHETORO, Plácido Antonio. **Desenvolvimento de Padrões para Redes Subterrâneas Híbridas**. Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica - SENDI, Brasília, 2004.

NAKAGUISHI, Marcos Issao; HERMES, Paulo Diego. **Estudo comparativo técnico/financeiro para implantação de redes de distribuição subterrâneas**. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Paraná, 2011.

LIMA, Francisco Assis. **Aspectos da Manutenção dos Equipamentos Científicos da Universidade de Brasília**. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Ciência da Informação e Documentação (FACE), 2006.