

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo deste trabalho será disponibilizado somente a partir de 23/02/2019.



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

WALTER HENRIQUE BERNARDELLI

**APLICAÇÃO DA MATRIZ DE DECISÃO NA ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA
PARA INVESTIMENTOS NA MODERNIZAÇÃO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO**

Prof. Dr. Dionízio Paschoareli Júnior
Orientador

Ilha Solteira
2017



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Ilha Solteira

Walter Henrique Bernardelli

**APLICAÇÃO DA MATRIZ DE DECISÃO NA ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA
PARA INVESTIMENTOS NA MODERNIZAÇÃO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO**

Prof. Dr. Dionízio Paschoareli Júnior
Orientador

Tese apresentada à Faculdade de
Engenharia Elétrica - UNESP – Campus de Ilha
Solteira, para obtenção do título de
Doutor em Engenharia Elétrica.
Área de Conhecimento: Automação

Ilha Solteira
2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

B522a Bernardelli, Walter Henrique.
Aplicação da matriz de decisão na análise técnica e econômica para investimentos na modernização de redes de distribuição / Walter Henrique Bernardelli. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2017
160 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Automação , 2017

Orientador: Dionízio Paschoareli Júnior
Inclui bibliografia

1. Avaliação técnica e econômica. 2. Custo benefício. 3. Matriz de decisão.
4. Qualidade de energia. 5. Redes compactas. 6. Spacer cable system.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

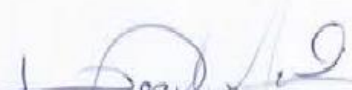
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

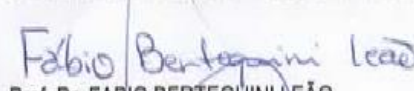
TÍTULO: APLICAÇÃO DA MATRIZ DE DECISÃO NA ANÁLISE
TÉCNICA E ECONÔMICA PARA INVESTIMENTOS NA MODERNIZAÇÃO
DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO


AUTOR: WALTER HENRIQUE BERNARDELLI

ORIENTADOR: DIONIZIO PASCHOARELI JUNIOR

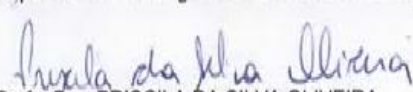
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em ENGENHARIA
ELÉTRICA, área: AUTOMAÇÃO pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. DIONIZIO PASCHOARELI JUNIOR
Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. FABIO BERTEQUINI LEÃO
Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. JEAN-MARCOS DE SOUZA RIBEIRO
Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. ROGERIO ANDRADE FLAUZINO
Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação / Universidade de São Paulo/São Carlos


Profa. Dra. PRISCILA DA SILVA OLIVEIRA
Departamento de Engenharia Elétrica / Fundação Universidade Federal do Tocantins

Certificado de Aprovação

**Título: APLICAÇÃO DA MATRIZ DE DECISÃO NA ANÁLISE TÉCNICA E
ECONÔMICA PARA INVESTIMENTOS NA MODERNIZAÇÃO DE REDES
DE DISTRIBUIÇÃO**

Autor: WALTER HENRIQUE BERNARDELLI

Orientador: Professor Doutor DIONIZIO PASCHOARELI JUNIOR
Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Professor Doutor Fábio Bertequini Leão
Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Professor Doutor Jean Marcos de Souza Ribeiro
Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Professor Doutor Rogério Andrade Flauzino
Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação / Universidade de São Paulo / São
Carlos

Professora Doutora Priscila da Silva Oliveira
Departamento de Engenharia Elétrica / Fundação Universidade Federal do Tocantins

Ilha Solteira, 23 de fevereiro de 2017

A minha esposa, que sempre
renunciou as suas prioridades para
incentivar-me e permitir que eu
realizasse este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao povo do Estado de São Paulo que com seu trabalho permitiu a criação da UNESP e que me acolheu como aluno, em uma instituição de referência que tem como Visão “Exercer sua função social por meio do ensino, pesquisa e da extensão universitária, com espírito crítico e livre, orientado por princípios éticos e humanísticos...” tem como Missão “Ser referência nacional e internacional de Universidade Pública multicampus, de excelência no ensino, na pesquisa e na extensão universitária, que forme profissionais e pesquisadores capazes de promover a democracia, a cidadania....”

Ao Prof. Dr. Dionizio Paschoareli Junior que de forma exemplar personifica a Visão e Missão da UNESP, compartilhou brilhantemente seu conhecimento e incentivo durante este período e pela honra de sua orientação.

Ao Prof. Dr. Luis Carlos Origa de Oliveira, meu orientador no programa de mestrado e incentivador para que continuasse a estudar.

Ao Prof. Dr. Moacyr Trindade de Oliveira Andrade, que me orientou no início do meu programa de doutorado na UNICAMP.

Aos professores titulares da banca, Dr. Rogério Andrade Flauzino, Dra. Priscila da Silva Oliveira, Dr. Fábio Bertequini Leão, Dr. Jean Marcos de Souza Ribeiro e professores suplentes, Dr. Falcondes José Mendes de Seixas, Dr. Mario Oleskovicz e Dr. Edson Italo Mainardi Junior pela disponibilidade em participar da banca de avaliadores e pelas contribuições oferecidas.

Ao Prof. Dr. Maurizio Babini, amigo e incansável incentivador para conclusão deste trabalho.

Ao amigo e Prof. João Batista Romero pelo seu desprendimento e altruísmo em criar condições para que eu pudesse estudar com tranquilidade, pela amizade e apoio incondicional.

Ao Prof. Valdecir Polizelli pela sua colaboração na área de matemática e pela disponibilidade a qualquer momento.

Ao UNIFEB pelo apoio e oportunidade de trabalhar em uma instituição de referência.

Aos colegas de trabalho da CMS Energy, CPFL Energia e Fundação Educacional de Barretos, Oswaldo Pinto Ramiro Junior, Alexandre Vieira de Oliveira, Ricardo Torezan, Antonio Claudinei Simões, Mauricio Dib Costa, Wagner Seizo Hokama, Rubens Bruncek Ferreira, professores Vagner Ricardo de Araujo Pereira, Antônio Manoel Batista da Silva, Wanderley Mauro Dib, Flavio de Freitas Castilho, Álvaro Fernandes Gomes e tantos outros pelo compartilhamento dos conhecimentos e incentivo.

Ao amigo e irmão de sonhos Accacio de Oliveira Santos Junior, meu guia, meu companheiro e herói, pela sua disponibilidade e por compartilhar desinteressadamente sua experiência de vida e sabedoria sobre a alma dos homens, sempre com simplicidade e aguçado senso de humor.

A Nenê, tia amada com um coração sempre alegre.

Maria Cristina de Oliveira Santos Miyazaki, querida prima que sempre está disponível a compartilhar suas experiências de estudo e docência na Faculdade de Medicina de São José do Rio Preto e pronta a colaborar.

Ao Neto, amigo e primo, inseparável companheiro de caminho.

Cristhina Helena Bernardelli Starke, a irmã que compartilha, incentiva meus desafios sempre com ternura.

Sergio Luiz Bernardelli, mais que irmão, um amigo de sempre pronto a me incentivar.

A amigo David Starke, de tão longe e tão presente.

A Leonilda e Walter, meus pais que me deram mais que a luz, deram a iluminação!

À Zila e Miguel, sogros queridos, sempre apoiando e acreditando.

A Valério José Arantes, professor da UNICAMP, amigo e incentivador.

A meus professores, desde os primeiros passos no Jardim da Infância na minha querida Nhandeara, que sempre me desafiaram a aprender, mas sem nunca me abandonar.

Aos meus alunos que sempre me puseram a pensar através suas perguntas e astúcia durante as aulas e em conversas informais.

Aos meus familiares pelo apoio e incentivo e que me proporcionaram condições para estudar.

Aos professores e funcionários da UNESP – FEIS, Campus de Ilha Solteira, pelo respeito, dedicação, paciência, amizade e colaboração.

Aos colegas de curso e companheiros de pesquisa.

A Daniel Bernoulli que com perspicácia e simplicidade desenvolveu, no século XVIII, teses ligadas a tomada de decisão, que nos dias de hoje são aplicadas, estudadas e ainda há muito o que aprender com seus textos. Fica evidente que Bernoulli está ainda hoje, muito à frente do nosso tempo.

Aos presentes e ausentes.

A alegria de aprender e viver!!!

Há duas fontes perenes de alegria
pura: o bem realizado e o dever
cumprido - Eduardo Girão.

RESUMO

Este trabalho apresenta um método que visa possibilitar a gestão do aparente impasse envolvendo três agentes do setor elétrico. A Distribuidora de Energia que visa lucros, o Regulador que impõe às Distribuidoras, metas permanentes de melhor desempenho juntamente com viés de redução das tarifas e o Consumidor que deseja qualidade de fornecimento de energia e tarifas justas. Este método possibilita identificar e priorizar com precisão qual circuito de um sistema elétrico é mais adequado para os investimentos em melhoria de desempenho, quantificar o ganho de qualidade após as melhorias e avaliar técnica e economicamente se o benefício obtido em melhoria de qualidade produzirá retorno financeiro para remunerar o investimento. Para o desenvolvimento deste método, os dados de desempenho do sistema elétrico foram tratados estatisticamente para identificar quais ocorrências podem ser mitigadas com ações da distribuidora. Foi desenvolvida uma matriz de decisão multiatributos, referenciada pelos parâmetros de desempenho do sistema elétrico, para possibilitar a ordenação das regiões elétricas prioritárias para investimentos em melhorias. As ações técnicas de melhorias consideram a utilização de redes compactas e através de medições de desempenho destas redes e a comparação com o desempenho de redes nuas, foi possível estabelecer o potencial de redução do número de ocorrências após a implantação. Foi estabelecido critérios para identificar a taxa de melhoria de desempenho, que estabelece a correlação entre a extensão de rede modernizada e a redução do número de ocorrências. Foi também estabelecido critérios para avaliação econômica do investimento de modo a garantir que os benefícios técnicos e econômicos suportem os investimentos, viabilizando o processo de melhoria. Este método permite elaborar o planejamento estratégico plurianual mais eficiente do sistema elétrico, atendendo aos requisitos regulatórios brasileiro. Nesta análise serão apresentadas alternativas para a gestão da malha elétrica com maior eficácia técnica e econômica, otimizando a aplicação dos recursos disponíveis e extraindo elevada qualidade no fornecimento de energia elétrica. O resultado final é melhoria contínua da qualidade da energia fornecida, saúde financeira da distribuidora, do setor elétrico e tarifas adequadas, ou seja, este método é uma ferramenta precisa para gestão de ativos.

Palavras-Chave: Avaliação técnica e econômica. Custo benefício. Matriz de decisão. Qualidade de energia. Redes compactas. *Spacer cable system*.

ABSTRACT

This paper presents a methodology which supports the management of this apparent impasse involving three electricity sector agents. The Utility Company which focus on profit, the Regulator that imposes on Distributors permanent goals of better performance together with tariff reduction biases, and the Consumer who seeks for quality of energy supply and fair tariffs. This method makes it possible to accurately identify and prioritize which circuit of an electrical system is most appropriate for investments in performance improvement and to technically and economically evaluate whether the benefit obtained in quality improvement will yield financial return for the investment. For the development of this method, the performance data of the electrical system was treated statistically to identify which occurrences could be mitigated by distributor actions. A multi-attribute decision matrix was developed, supported by the performance parameters of the electric system, to enable the ordering of the priority electric regions for investments in improvements. The technical actions of improvements consider the use of spacer cable system. Through performance measurements of these networks, it was possible to establish the potential of reducing the number of occurrences after the implantation. To identify the rate of performance improvement a criterion has been established which establishes the correlation between the modernized network extension and the reduction of the number of occurrences. A method for assessing investment was also established to ensure that the technical and economic benefits finance the investments, making the improvement process feasible. This methodology allows elaborating the multi-year strategic planning of the electric system, meeting the Brazilian regulatory requirements. In this analysis alternatives for the electrical grid management will be presented with more technical and economic efficiency, optimizing the application of available resources and extracting high performance of the electrical system. The result is a continuous improvement of the power quality of the energy, financial health of the distributor and the electric sector, and adequate tariffs, that is, this method is an accurate tool for asset management.

Keywords: Compact networks. Cost benefit. Decision matrix. Power quality. Spacer cable system. Technical and economic evaluation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Evolução do consumo de energia no Brasil, 2013 – 2050.....	21
Figura 2	- Investimentos necessários versus disponibilidade de recursos financeiros.....	25
Figura 3	- Redes Elétricas foco deste trabalho.....	28
Figura 4	- Revisão Tarifária Periódica – RTP.....	43
Figura 5	- Evolução do DEC e FEC no Brasil de 1997 a 2015.....	46
Figura 6	- Metas ANEEL contratadas de DEC de nove Distribuidoras.....	47
Figura 7	- Metas ANEEL contratadas de FEC de nove Distribuidoras	48
Figura 8	- Representação do Espaço de Decisão Variável e o correspondente Espaço Objetivo.....	51
Figura 9	- Ordenação da Matriz de Decisão – Multiatributos.....	52
Figura 10	- Rede de distribuição de energia elétrica aérea nua – padrão convencional.....	57
Figura 11	- Evolução anual das ocorrências.....	61
Figura 12	- Localização geográfica das ocorrências na rede elétrica.....	64
Figura 13	- Estratificação das ocorrências “sem interrupção” do fornecimento, que podem ser mitigadas com ações nos ativos elétricos.....	65
Figura 14	- Estratificação das ocorrências “com interrupção” do fornecimento que podem ser mitigadas com ações nos ativos elétricos.....	66
Figura 15	- Segmentação geoeletrica das localidades.....	70
Figura 16	- Modelo de Matriz de Decisão.....	73
Figura 17	- Posicionamento dos Eixos que dividem os quadrantes da Matriz de Decisão.....	80
Figura 18	- Matriz de Decisão para 12 localidades (Classificação A - mais de 70.000 consumidores)	83
Figura 19	- Sistema de proteção da rede secundária	87
Figura 20	- Rede compacta com tecnologia de cabo coberto na primária - spacer cable system e cabo isolado multiplexado na secundária..	90
Figura 21	- Rede isolada de 15kV com 3 circuitos na mesma posteação.....	91
Figura 22	- Racional para obter o número de ocorrência remanescentes.....	96
Figura 23	- Digrama unifilar da rede de distribuição de energia.....	99
Figura 24	- Curva de correlação entre o percentual de rede modernizada e a redução do número de ocorrências da rede secundária urbana...	102
Figura 25	- Correlação percentual da rede elétrica a modernizar e potencial de redução do número de ocorrências - ampliação da Figura 24.	104
Figura 26	- Relação entre a curva de correlação com a taxa de melhoria de	107

	desempenho.....	
Figura 27	- Resolução gráfica – método de Newton-Raphson	107
Figura 28	- Resolução gráfica do trecho sob análise – método de Newton-Raphson.....	108
Figura 29	- Curva de correlação entre o percentual de rede modernizada e a redução do número de ocorrências da rede primária urbana	110
Figura 30	- Curva de correlação entre o percentual de rede modernizada e a redução do número de ocorrências da rede primária rural.....	111
Figura 31	- Curvas de correlação da rede Secundária, Primárias Urbanas e Rurais.....	112
Figura 32	- Curvas das redes Secundária, e Primárias Urbanas e Rurais.....	114
Figura 33	- Fluxo de caixa.....	121
Figura 34	- Cenários de investimentos	141
Figura 35	- Cenários de investimentos.....	145

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Dados do sistema de distribuição de energia.....	29
Tabela 2	- Histórico das ocorrências	60
Tabela 3	- Evolução anual real das ocorrências registradas até o ano 2008..	61
Tabela 4	- Previsão da evolução anual das ocorrências até o ano 2013 – 5 anos	62
Tabela 5	- Número de ocorrências tratáveis por localidade.....	63
Tabela 6	- Classificação das localidades por número de Consumidores.....	69
Tabela 7	- Distribuição das Localidades por número de consumidores.....	71
Tabela 8	- Cálculo do Indicador Técnico de Priorização – I T.....	81
Tabela 9	- Cálculo do Indicador Econômico – I E.....	82
Tabela 10	- Localização da Região Elétrica na Matriz de Decisão.....	85
Tabela 11	- Correlação de causa e defeito – número de ocorrências.....	88
Tabela 12	- Porcentagem de ocorrências remanescentes após a migração de rede nua para rede compacta	95
Tabela 13	- Número de ocorrências remanescentes	97
Tabela 14	- Distribuição percentual acumulado de redução de ocorrências e percentual acumulado de redes modernizadas.....	100
Tabela 15	- Tempos médios para atendimento as ocorrências.....	124
Tabela 16	- Custos Modular dos Profissionais por hora trabalhada.....	126
Tabela 17	- Custos por hora de veículos	127
Tabela 18	- Formação e custo das Equipes Típicas.....	128
Tabela 19	- Comparação dos custos de O&M entre redes nuas e redes compactas (R\$)	130
Tabela 20	- Custo Médio para Poda de Árvores	130
Tabela 21	- Taxa de Falha (λ) – n° de ocorrência por km de rede por ano.....	131
Tabela 22	- Pedido de indenizações pelos consumidores por danos causados pela rede elétrica em equipamentos – PID.....	132
Tabela 23	- Fluxo de caixa para rede secundária totalmente depreciada.....	139
Tabela 24	- Fluxo de caixa para rede primária totalmente depreciada.....	140
Tabela 25	- Avaliação econômica – juros de 15% ao ano	140
Tabela 26	- Fluxo de caixa para rede secundária parcialmente depreciada	143
Tabela 27	- Fluxo de caixa para rede primária parcialmente depreciada.....	143
Tabela 28	- Avaliação econômica – juros de 15% ao ano.....	144

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABADEE	Associação brasileira das distribuidoras de energia elétrica
AIR	Análise de Impacto Regulatório
ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
ASCS	<i>Aerial Spacer Cable System</i>
Capex	<i>Capital expenditure</i>
C/B	Índice de custo-benefício
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CO	Centro de Operação
COM	Componente Menor
CP	Critérios de Priorização
DEC	Duração equivalente de interrupção por unidade consumidora, expressa em horas e centésimos de hora
DIC	Duração de interrupção individual por unidade consumidora ou por ponto de conexão, expressa em horas e centésimos de hora
DMIC	Duração máxima de interrupção contínua por unidade consumidora ou por ponto de conexão, expressa em horas e centésimos de hora
EDP	Empresa de distribuição de energia elétrica de Portugal
END	Energia Não Distribuída
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EPI	Equipamento de Proteção Individual
EPIs	Equipamentos de Proteção Individual
EPR	Etileno propileno
EPRI	<i>Electric Power Research Institute</i>
ER	Empresa de Referência
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
FEC	Frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora, expressa em número de interrupções e centésimos do número de interrupções
FGTS	Fundo de Garantia por Tempo de Serviço
FIC	Frequência de interrupção individual por unidade consumidora ou ponto de

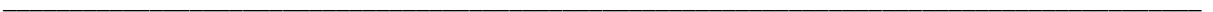
	conexão, expressa em número de interrupções
GIS	Sistema de informação geográfica (<i>Geographic Information System</i>)
IE	Indicador econômico
IGP-M	Índice geral de preços de mercado
INSS	Instituto Nacional do Seguro Social
IRR	<i>Internal rate of return</i>
IP	Índice de Priorização
IT	Indicador técnico
MAUT	<i>Multiple Attribute Utility Theory</i>
MBC	Manutenção Baseada na Condição
MCPSE	Manual de Controle Patrimonial do Setor Elétrico
MME	Ministério de Minas e Energia
NA	Normalmente Aberta
NBR	Norma Brasileira
NF	Normalmente fechada
NPV	<i>Net Present Value</i>
O&M	Operação e Manutenção
Opex	<i>Operational expenditure</i>
PE	Polietileno termoplástico
PIB	Produto Interno Bruto
PID	Pedidos de Indenização por Danos Elétricos
PNE	Plano Nacional de Energia
PRODIST	Procedimentos de Distribuição
PRORET	Procedimentos de Regulação Tarifária
PVC	Cloreto de polivinila
QRR	Quota de Reintegração Regulatória
REN	Resolução Normativa
RTP	Revisões Tarifárias Periódicas
SAF	Superintendente de Administração e Finanças
SCG	Superintendência de Concessões e Autorizações de Geração
SCT	Superintendência de Concessões, Permissões e Autorizações de Transmissão e Distribuição

SEM	Superintendência de Estudos do Mercado
SENDI	Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica
SENSE	Seminário Nacional de Segurança e Saúde no Setor Elétrico Brasileiro
SFE	Superintendência de Fiscalização dos Serviços de Eletricidade
SFF	Superintendência de Fiscalização Econômica e Financeira
SFG	Superintendência SGH – Superintendente de Gestão e Estudos Hidroenergéticos
SGI	Superintendência de Gestão Técnica da Informação
SLC	Superintendência de Licitações e Controle de Contratos e Convênios
SPE	Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética
SRC	Superintendência de Regulação dos Serviços Comerciais
SRD	Superintendência de Regulação dos Serviços de Distribuição
SRE	Superintendência de Regulação Econômica
SRT	Superintendência de Regulação dos Serviços de Transmissão
TIR	Taxa Interna de retorno
TMA	Tempo médio de atendimento
TMAR	Tempo médio de atendimento rural
TMAU	Tempo médio de atendimento urbano
TWh	Tera Watts hora
UAC	Unidades de Aquisição e Controle
Unesp	Universidade Estadual Paulista
VPL	Valor Presente Líquido
WACC	<i>Weighted Average Cost of Capital</i> (Custo Médio Ponderado do Capital)
XLPE	Polietileno termofixo ou polietileno reticulado

SUMARIO

1	INTRODUÇÃO.....	21
1.1	MOTIVAÇÃO.....	22
1.2	OBJETIVOS DA TESE.....	25
1.3	ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO.....	27
2	FUNDAMENTAÇÃO DO TRABALHO.....	32
2.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	32
2.2	POLÍTICAS REGULATÓRIAS DO SETOR ELÉTRICO.....	39
2.3	EVOLUÇÃO DA TARIFA DE ENERGIA ELÉTRICA.....	40
2.4	EVOLUÇÃO DOS INDICADORES DE QUALIDADE DO FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	44
2.5	METODOLOGIA PARA TOMADA DE DECISÃO.....	49
2.6	MÉTODO DE NEWTON-RAPHSON OU MÉTODO DAS TANGENTES.....	53
3	ANÁLISE DO HISTÓRICO DAS FALHAS E DEFEITOS NAS REDES ELÉTRICAS	56
3.1	CARACTERIZAÇÃO DAS REDES ELÉTRICAS SOB ANÁLISE.....	56
3.2	CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DAS OCORRÊNCIAS.....	58
3.3	LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DAS OCORRÊNCIAS – ÁREAS URBANA E RURAL.....	62
4	DESENVOLVIMENTO DE MÉTODO PARA IDENTIFICAR AS REDES ELÉTRICAS COM POTENCIAL PARA MELHORAR O DESEMPENHO TÉCNICO E ECONÔMICO.....	67
4.1	PROPOSTA DE MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DA MATRIZ DE DECISÃO.....	68
4.2	PREMISSAS DOTADAS.....	68
4.2.1	Classificação das localidades por número de consumidores com abordagem geolétrica.....	69
4.2.2	Elaboração da matriz de decisão.....	72
4.2.3	Análise do desempenho da rede elétrica.....	86
4.2.4	Análise das ocorrências na rede secundária.....	86
4.2.5	Alternativas para redução das ocorrências.....	88

4.2.6	Identificação dos circuitos para melhorias.....	98
4.2.7	Validação do modelo das curvas de correlação entre o percentual de rede modernizada e a redução do número de ocorrências.....	112
5	AVALIAÇÃO ECONÔMICA.....	115
5.1	CRITÉRIO UTILIZADO PELA ANEEL PARA REMUNERAÇÃO DA TARIFA DE ENERGIA ELÉTRICA.....	117
5.2	CRITÉRIOS APLICADOS PARA AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA.....	119
5.3	INDICADORES DE TEMPO PARA ATENDIMENTO ÀS OCORRÊNCIAS EMERGENCIAIS	123
5.4	CUSTOS MODULARES DA OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DA REDE ELÉTRICA.....	124
5.5	CUSTO TOTAL DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO PARA REDES NUAS.....	133
5.6	CUSTO TOTAL DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO PARA REDES COMPACTAS.....	135
5.7	COMPARAÇÃO DOS CUSTOS DE O&M ENTRE REDES NUA E COMPACTA.....	135
5.8	CUSTOS PARA A SUBSTITUIÇÃO DAS REDES NUAS POR REDES COMPACTAS.....	137
5.9	ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA SUBSTITUIÇÃO DE REDE NUA TOTALMENTE DEPRECIADA POR REDE COMPACTA.....	138
5.10	ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA SUBSTITUIÇÃO DE REDE NUA PARCIALMENTE DEPRECIADA POR REDE COMPACTA.....	142
5.11	CONSIDERAÇÕES SOBRE A AVALIAÇÃO ECONÔMICA.....	146
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	148
6.1	TRABALHOS FUTUROS.....	151
	REFERÊNCIAS.....	152



APLICAÇÃO DA MATRIZ DE DECISÃO NA ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA INVESTIMENTOS NA MODERNIZAÇÃO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO

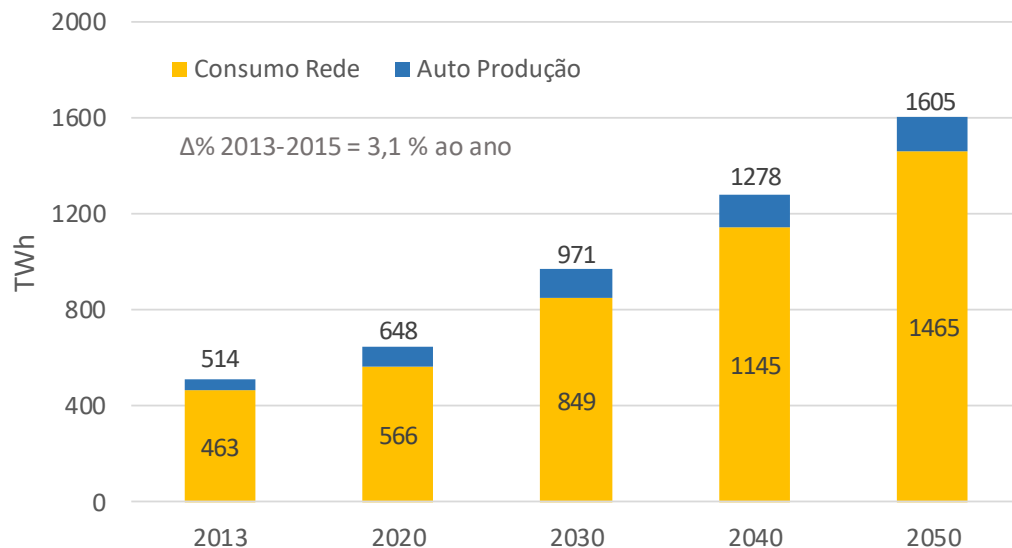
CAPITULO I

1 INTRODUÇÃO

O mercado de energia é crescente no Brasil e conforme o Plano Nacional de Energia 2050 – PNE¹, publicado pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE² do Ministério de Minas e Energia – MME³, as projeções indicam tendências de um aumento médio de 3,1% ao ano para o Brasil, a partir de 2013 a 2050.

Na Figura 1 é apresentado graficamente esta previsão da evolução do consumo de energia no Brasil, para o período entre 2013 e 2050 (PNE 2050-MME).

Figura 1 - Evolução do consumo de energia no Brasil, 2013 – 2050



Fonte: próprio autor: Plano Nacional de Energia- PNE – 2050 – MME (atualizado em 11/11/2016)

¹ PNE – Plano Nacional de Energia

² EPE – Empresa de Pesquisa Energética

³ MME – Ministério de Minas e Energia

Conforme o Plano Nacional de Energia, estima-se que o consumo de energia elétrica via rede evolua de 463 TWh em 2013 para valores de 1.465 TWh ao fim de 2050. Isto significa que em 2050, o consumo de energia elétrica via rede poderá ser de 216% maior que o de 2013.

Estas projeções de consumo de eletricidade incorporam premissas de crescente eficiência em seu uso, conforme EPE. De fato, a otimização do uso dos recursos energéticos apresenta-se como uma necessidade natural para alavancar o crescimento econômico aumentando a produtividade e reduzindo os elevados investimentos em infraestrutura.

De modo mais específico, considera-se que o ritmo de expansão do consumo de eletricidade, no caso brasileiro, está condicionado principalmente aos fatores de modernização da atividade agropecuária no país, participação dos grandes consumidores industriais de energia elétrica no valor adicionado total da indústria, aumento da participação do setor de serviços no PIB⁴, a evolução do consumo per capita de eletricidade no setor residencial e a difusão de alternativas eficientes de uso da eletricidade, conforme premissas norteadoras do Plano Nacional de Energia.

Sem dúvida, o crescimento da necessidade de energia elétrica representa um desafio importante para o setor elétrico brasileiro, para garantir ao mercado disponibilidade de energia e qualidade no fornecimento a preços módicos.

A malha elétrica para atender este crescimento deve ser contemplada com investimentos na ampliação e reforço do sistema elétrico com a construção de redes e subestações.

O atendimento ao mercado de energia elétrica é regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL⁵, que tem como desafio garantir condições para que as Geradoras, Transmissoras e Distribuidoras de energia elétrica, disponibilizem a energia necessária ao mercado, porém com qualidade adequada e a preços justos.

1.1 MOTIVAÇÃO

Para atender a expansão do mercado consumidor de energia, o sistema de potência

⁴ PIB – Produto Interno Bruto

⁵ ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho integra diversas áreas do conhecimento oriundas da academia e que aplicadas à moderna engenharia produzirão melhoria na qualidade do serviço fornecido e posicionarão a rede de distribuição em um novo patamar compatível com a demanda por serviços com melhor qualidade e a custos adequados.

Conclui-se que foram alcançados os objetivos propostos pelo presente trabalho. Seu conteúdo apresenta um método consistente e aplicável e que foi desenvolvido durante a pesquisa realizada, através da aplicação de conceitos científicos atuais.

O conteúdo deste trabalho contribui para estruturação de critérios objetivos para avaliação de um sistema elétrico qualquer e possibilitar a identificação de alternativas técnicas e econômicas para propostas de ações exequíveis, visando a melhoria da qualidade dos serviços de eletricidade.

A aplicação deste método permite precisão na tomada de decisão para obtenção do melhor desempenho técnico da rede elétrica e o melhor retorno econômico deste investimento, possibilitando melhoria contínua da qualidade da energia fornecida e saúde financeira da distribuidora e do setor elétrico.

A avaliação econômica desenvolvida neste trabalho indica que os ganhos de qualidade auferidos podem gerar recursos para o financiamento da modernização do sistema elétrico, desde que as taxas de juros e o grau de depreciação dos ativos a serem substituídos suportem esta migração de tecnologia.

Avaliando especificamente os objetivos propostos, foi possível o desenvolvimento de uma Matriz de Decisão que, com a utilização de indicadores técnicos e econômicos, possibilita a ordenação e identificação precisa de cada região elétrica que compõe o sistema de potência e que são propícias ao desenvolvimento de projetos de melhoria da qualidade do fornecimento.

A intersecção desses indicadores técnicos e econômicos permitem localizar a região com o pior desempenho técnico e melhor retorno do investimento, sinalizando que o destino

dos recursos disponíveis produza maximização do retorno técnico e econômico. O retorno técnico se dá pela redução do número de ocorrências e o retorno econômico se dá através da realização de investimentos prudentes na rede elétrica de modo que os ganhos de desempenho auferidos possam financiar os investimentos em modernização.

Identificada através da Matriz de Decisão, a região elétrica com maior favorabilidade para o programa de melhorias, é possível identificar por quais circuitos nesta região elétrica serão iniciados os projetos de melhoria de desempenho. Esta identificação ocorre a partir da ordenação dos circuitos com pior desempenho na direção dos circuitos com melhor desempenho. Estes circuitos com desempenho críticos apresentam o maior potencial de benefícios.

Por meio da migração de um sistema elétrico constituído de redes nuas para um sistema elétrico com redes compactas e a adequada comparação do desempenho entre estes sistemas construtivos, é possível determinar, através da Taxa de Melhoria de Desempenho, qual o potencial de redução do número de ocorrências proporcionalmente a extensão de redes modernizadas. Esta identificação é possível através da construção da curva que correlaciona a redução do número de ocorrências em relação a extensão de redes modernizadas. Por outro ângulo, é possível fixar o nível de redução do número de ocorrências desejado e identificar qual a extensão de rede a ser modernizada para se atingir a meta estabelecida. Esta ação pode ser obtida individualmente para as redes primária e secundárias.

Avaliando a proposta de utilização deste método na aplicação prática dessas novas tecnologias, é possível afirmar que as redes compactas são mais eficientes, com tecnologias mais sustentáveis e com melhor resultado econômico ao longo da vida útil se comparadas as redes nuas existentes.

Completando este conjunto de objetivos, a avaliação do resultado econômico, necessário ao financiamento deste programa, aplicou os conceitos modernos de engenharia econômica com cálculos atuariais, considerando um horizonte de 20 anos de vida útil dos ativos, conforme especifica a legislação do setor elétrico brasileiro.

A avaliação dos custos e benefícios destes investimentos considerou os recursos aplicados desde a implantação do projeto, passando pela operação e manutenção até o final da vida contábil e não observando apenas o custo inicial de implantação.

Esta avaliação econômica e técnica está alinhada ao Manual de Controle Patrimonial do Setor Elétrico, no qual as premissas de remuneração destes ativos são regulamentadas através da legislação brasileira e são fundamentais para manter a competitividade no setor elétrico. Estes conceitos são fundamentais para avaliação da eficiência do investimento e compartilhamento dos benefícios com consumidores e investidores.

Para o direcionamento da avaliação econômica, foram analisados diferentes cenários

considerando os parâmetros de juros e depreciação econômica das redes, de modo que foi possível identificar a relação entre estas grandezas e a consequência no resultado do projeto, sinalizando a viabilidade ou a inviabilidade, no momento da análise.

Esta análise permite que os planejadores possam determinar o limite dos custos de capital pagos para financiamento do projeto bem como identificarem cronologicamente a depreciação adequada para substituição dos ativos.

A aplicação deste método permite identificar as oportunidades para as ações de melhorias no sistema elétrico garantindo adequado desempenho técnico e econômico deste investimento.

Outro fator de destaque deste método para análise e gestão da rede elétrica, foi a integração dos conceitos técnicos de engenharia e economia aos diplomas legais que regulam o setor elétrico e que são estratégicos para o desenvolvimento do Brasil.

Desta forma verifica-se que é possível conciliar a expansão e melhoria da qualidade do sistema elétrico sem, contudo, comprometer o equilíbrio entre a tecnologia e a economia, fator este, desejável para o setor elétrico

Outra questão que sempre estará na agenda nacional é a capacidade do estado em manter o interesse do investidor em continuar financiando esta expansão, sem onerar à tarifa e agredir os preceitos de sustentabilidade nacional. A avaliação técnica e econômica proposta por este método indica esta possibilidade.

Esta não é apenas uma proposta de alteração física nas redes com a migração de padrão construtivo. Será uma migração para um novo modelo de gestão que permeará toda a espinha dorsal das empresas e do setor elétrico brasileiro, que tem como ponto de partida as áreas de engenharia e na sequência as áreas de mercado, regulação, contabilidade, suprimento, logística e produção.

Importante ressaltar que a academia e todo o parque de fornecedores de produtos e serviços para este setor, serão impactados positivamente na direção de criar e agregar novos valores de serviços e produtos a este mercado.

Adicionalmente, este método pode ser aplicado em todo sistema elétrico de distribuição, bastando para tanto a prospecção de informações corretas de cada rede elétrica sob estudo, com a finalidade de alimentar dados e as ferramentas de análise.

Este trabalho enseja também a possibilidade de novos estudos aplicados ao setor elétrico.

No lado da demanda, a possibilidade de novos critérios de planejamento, operação e manutenção das redes e equipamentos do sistema de distribuição, possibilitará a redução das perdas, redução do custo de implantação das redes e outros infindáveis benefícios decorrentes do melhor conhecimento da performance do sistema elétrico.

Do lado do consumo, será registrado melhoria na qualidade do serviço de energia, garantindo maior segurança as atividades produtiva e de lazer e, por conseguinte, tarifas adequadas para este serviço.

Haverá poucos limites se for aplicada a criatividade.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

Tratou-se neste documento, de uma ampla visão estratégica para planejamento técnico e econômico de redes de distribuição. Sem dúvida o resultado positivo oriundo deste método, permeará também os processos de produção, transmissão e demais melhorias possíveis no sistema elétrico.

Como sugestão para futuros estudos, este método pode também ser ajustada para verificar a viabilidade da implementação de sistemas inteligentes nas redes elétricas, permitindo identificar o circuito ideal para início da instalação da inteligência, com objetivos de auferir expressivos ganho de qualidade e retorno adequado para os investimentos. A partir desta análise será possível identificar os diferentes níveis de inteligência incorporados aos medidores e equipamentos instalados na rede, com objetivo de otimização dos recursos aplicados, evitando o superdimensionamento desta inteligência.

Outra linha de pesquisa é a adição destes sistemas inteligentes agregada a modernização das redes, conforme aqui proposto, possibilitando a análise técnica e econômica considerando ambas evoluções tecnológicas.

Considerando que 70% das ocorrências ocorrerem na rede de baixa tensão, outra vertente para novos estudos poderá caminhar na direção de desenvolvimento de um módulo específico para estas redes.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Indicadores coletivos de continuidade**. Brasília: ANEEL, 2015. Disponível em:

http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/indicadores_de_qualidade/pesquisaGeral.cfm. Acesso em: 12 nov. 2016.

_____. **Nota técnica nº 0025 / 2006 - SRD/ANEEL**: metodologia para o estabelecimento da relação entre a qualidade e os investimentos necessários ao seu atendimento no segmento da distribuição de energia elétrica. Brasília: ANEEL, 2006. Disponível em:

<http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 20 abr. 2014.

_____. **Nota técnica nº 80/2012-SRE/ANEEL**: Companhia Energética do Ceará- COELCE. ciclo 2011-2014- final. Superintendência de regulação econômica. Brasília, 4 de abr. de 2012. Brasília: ANEEL, 2012. Disponível em:

<<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=182>>. Acesso em: 19 ago. 2013.

_____. **Nota técnica n.º 089/2008-SRE/ANEEL**: Brasília, 03 de abril de 2008. Segunda revisão tarifária periódica da concessionária de distribuição de energia elétrica. Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL Paulista. CICLO 2007 – 2010. Brasília: ANEEL, 2008.

Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 19 ago. 2013.

_____. **Nota técnica nº 097/2013-SRE/ANEEL-CPFL Paulista**. Brasília: ANEEL, 2013. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=182>>. Acesso em: 19 ago. 2013.

_____. **Nota técnica 113/2007 – SRD/SRE/ANEEL**: metodologia para projeção de investimentos para o cálculo do fator X. contribuição da audiência pública 052/2007. Brasília: ANEEL, 2007. Disponível em:

<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2007/052/contribuicao/copel_anexo_i_i_fator_x.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2013.

_____. **Nota técnica nº 122/2005-SRE/ANEEL**: metodologias para revisão tarifária periódica das concessionárias de distribuição de energia elétrica. Brasília: ANEEL, 2005.

Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 20 abr. 2014.

_____. **Nota técnica nº 203/2012-SRE/ANEEL**: eletropaulo. Brasília: ANEEL, 2012.

Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=182>>. Acesso em: 19 ago. 2013.

_____. **Nota técnica nº 244/2010;- SRE/ANEEL**. Brasília, 2 de agosto de 2010. ESCELSA. Brasília: ANEEL, 2010. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=182>>.

Acesso em: 19 de agosto 2013.

_____. **Nota técnica nº. 253/2012-SRE/ANEEL**: Centrais Elétricas do Pará S.A - CELPA. Brasília: ANEEL, 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=182>>.

Acesso em: 19 ago. 2013.

_____ **Manual de controle patrimonial do setor elétrico- MCPSE:** MCPSE, aprovado pela resolução normativa nº 367, de 02/06/2009, publicado em 26 de jun. 2009, retificado em 22 set. de 2009, Revisão do MCPSE através da Audiência Pública nº24/2014 e aprovação ANEEL Resolução Normativa nº 674, de 11 de agosto de 2015: publicação da Resolução nº 367/2009 até a última revisão. Brasília: ANEEL, 2009. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656815/14887121/MANUAL+DE+CONTROLE+PATRIMONIAL+DO+SETOR+EL%C3%89TRICO+MCPSE/3308b7e2-649e-4cf3-8fff-3e78ddeb98b?version=1.0>>. Acesso em: 5 out. 2015.

_____ **Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional- PRODIST:** qualidade da energia elétrica. Brasília: ANEEL, 2008. (Módulo, 8). Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 19 ago. 2013.

_____ **Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional- PRODIST:** ressarcimento de danos elétricos. Resolução normativa nº 499/2012. Brasília: ANEEL, 2012. (Módulo, 9). Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Modulo9_Revisao_0.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2014.

_____ **Procedimentos de Regulação Tarifária- PRORET:** submódulos 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 e 2.5. Brasília: ANEEL, 2011. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 20 de jan. 2015.

_____ **Resolução nº. 493, de 3 de setembro de 2002:** estabelece metodologia e critérios gerais para definição da base de remuneração, visando a revisão tarifária periódica das concessionárias de distribuição de energia elétrica. Brasília: ANEEL, 2002. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 1 set. 2013.

_____ **Resolução homologatória nº 1.223, de 18 de outubro de 2011:** CPFL Piratininga. Brasília: ANEEL, 2011. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=182>>. Acesso em: 19 ago. 2013.

_____ **Resolução homologatória nº 1.505, de 5 de abril de 2013:** Enersul. Brasília: ANEEL, 2013. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=182>>. Acesso em: 19 ago. 2013.

_____ **Resolução normativa nº 234, de 31 de outubro de 2006 (*) Nota técnica 262/2006:** SRE/SFF/SRD/SFE/SRC/ANEEL. Brasília: ANEEL, 2006. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 20 abr. 2014.

_____ **3º ciclo de RTP das distribuidoras de EE.** Brasília: ANEEL, 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/revisaoTarifariaPeriodica/index.cfm?Ano=2012&Concessionaria=73>>. Acesso em: 19 ago. 2013.

ASSAF NETO, A. **Finanças corporativas e valor.** São Paulo: Atlas, 2012. p. 159,160.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13820/1997:** avaliação de serviços, equipamentos, instalações e complexos industriais. Rio de Janeiro,

2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13820/1997:** avaliação de servidões, equipamentos, instalações e complexos industriais. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8977/1985:** avaliação de máquinas, equipamentos, instalações e complexos industriais. Rio de Janeiro, 2013.

ÁVILA, S. S. G. **Cálculo I:** funções de uma variável. 6. ed. São Paulo: Livros Técnicos e Científico, 2004. p. 27-56.

BARBETTA, P. A.; REIS, M. M.; BORNIA, A. C. **Estatística para cursos de engenharia e informática.** 3. ed. São Paulo: Atlas, 2010. p. 316-346.

BERNOULLI, D. Exposition of a new theory on the measurement of risk. **Econometric**, Chichester, v. 22, n. 1, p. 23-36, 1954. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/i332643>>. Acesso em: 14 nov. 2016.

BOSSI, A.; SESTO, E. **Instalações elétrica.** São Paulo: Hemus Livraria, 2002. p. 605-638.

BRIGHAM, E.; GAPENSKI, L.; EHRHARDT, M. **Administração financeira:** teoria e prática. São Paulo: Atlas, 2001. p. 437.

BURDEN, R. L.; FAIRES, J. D. **Análise numérica.** 8. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2008. p. 62-74.

CARDOSO, J. New solutions in EDP distribuição – medium voltage overhead lines. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICITY DISTRIBUTION – CIRED, 1., 2009, Prague. **Conference...** [S.l.]: Electricity Distribution, 2009. p. 1.

CÔRTEZ, J. G. P. **Introdução à economia da engenharia, uma visão do processo de gerenciamento dos ativos da engenharia.** 3. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012. p. 71-154.

CYRILLO, I. O. **Estabelecimento de metas de qualidade na distribuição de energia elétrica por otimização da rede e do nível tarifário.** 2011. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo– USP, São Paulo, 2011.

DEB, K. **Multi-objective optimization using evolutionary algorithms:** west sussex PO 19 8SQ. England: John Wiley & Sons, 2004. p. 1-48.

DOMINGUEZ, J. S.; CERQUEIRA JUNIOR, A. J.; DOMINGUEZ, D. S.; FRIAS, D.; IGLESIAS, S. M. Using a multi-agent system for monitoring indicators of quality of service in power distribution networks. **IEEE Latin America Transactions**, Piscataway, v. 13, n. 4, 2015. p. 1048-1054.

FIGUEIREDO, S.; CAGGIANO, P. **Controladoria: teoria e prática**. São Paulo: Atlas, 1997. p. 91.

GAUTSCHI, W. **Numerical analysis, an introduction**. West Lafayette: Birkhauser Boston, 1997. p. 230-243.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos**. Rio de Janeiro: Campus, 2000. p. 1-30.

GOMES, C. F. S. **Principais características da teoria da utilidade multiatributo, e análise comparativa com a teoria da modelagem de preferências e teoria das expectativas**. Rio de Janeiro: Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV)/COPPE – UFRJ, [200-]. p. 1-6.

GONDIM, I. N.; BARBOSA JUNIOR, J. A. F.; OLIVEIRA, J. C. Member IEEE. OLIVEIRA, A.; TAVARES, C. E. An approach to obtain system disturbance data to consumer reimbursement analysis by real time measurements. **IEEE Latin America Transactions**, v. 11, n. 2, p. 719-725, March 2013.

GUEMBAROVSKI, R. H. **Um modelo de referência orientado ao conhecimento para o processo de planejamento de sistemas de distribuição de média tensão**. 2014. 277 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica)– Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

HEIDARI, S.; FOTUHI-FIRUZABAD, M.; KAZEMI, S. IEEE member. Power distribution network expansion planning considering distribution automation. **IEEE Transactions on Power Systems: IEEE Journals & Magazines**, Athenas, v. 30, n. 3, p. 1261-1269, May 2015.

HELEBRANDO, A.; HOKAMA, W. S. Rede de distribuição inteligente com auto recuperação de alimentadores. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA- SENDI, 21., 2014, Santos. **Anais...** Santos: [s.n.], 2014. p. 1-6.

JARDINI, A. J.; MATSUO, I. B. M.; HOKAMA, W. S. et al. Diagnóstico da atuação da proteção em subestações de distribuição. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA-SENDI, 21., 2014, Santos. **Anais...** Santos: [s.n.], 2014. p. 1-12.

KUHLENENGEL, M. ; LANDINGER, C. S. R. IEEE member. In: BELLO, S.; GRENIER, G.; PSILOPULOS, K. Development and installation of a 69kV aerial cable system. **IEEE Transactions on Power Systems**, Piscataway, p. 836-841, 1999

LAURIA, L. C. **Decisões de custos em épocas de crise: aspectos relevantes em orçamentos de investimentos (capex)**. Belo Horizonte: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais-PUC, , ano de publicação. __, Disponível em: <<http://docslide.com.br/download/link/capex-e-opex>>. Acesso em: 7 mar 2017.

MILONI, G.; ANGELINI, F. **Estatística aplicada, número s-índices, regressões e correlações, séries temporais**. São Paulo: Atlas, 1995. p. 159-193.

MINISTÉRIO DE ESTADO DO TRABALHO E EMPREGO. **Norma Regulamentadora 10 NR10**: segurança em instalações e serviços em eletricidade, conforme a portaria ministro de estado do trabalho e emprego nº 598 de 07 de dez. de 2004. Brasília- DF: Portaria nº 3.214, de 1978. Disponível em: <<http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr10.htm>>. Acesso em: 1 nov. 2014.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME; SECRETARIA DE ENERGIA – SE; DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DNAEE. Contrato de concessão no 014/97 companhia paulista de força e luz - cpfl distribuição. Brasília; Brasil: Diário Oficial da União de 25 de setembro de 1997 e outorgadas pelo Decreto de 19 de novembro de 1997. **Diário Oficial da União** de 20 de novembro de 1997. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/655812/15062979/Contrato+de+Concess%C3%A3o.pdf/d8d68f82-7cab-458b-9ea8-0a0dbc5b3920?version=1.0>. Acesso em: 22 fev. 2012.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. SECRETARIA DE ENERGIA – SE. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DNAEE. **Plano nacional de energia 2050- PNE**: nota técnica DEA 13/15. Demanda de energia 2050. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 11 nov. 2016.

NAUMOV, A. A.; KHODUSOV, N. V. NPV: method for investment estimation. Science and Technology. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SCIENCE AND TECHNOLOGY, 6., 2002, Russian. **Proceedings...** Russian: KORUS, 2002.

RAMÍREZ-VÁZQUEZ, I.; ESPINO-CORTÉS, F. P. Electric-field analysis of spacer cable systems for compact overhead distribution lines. **IEEE Transactions on Power Delivery**, Piscataway, v. 27, n. 4, 2012. p. 2312-2317. DOI: 10.1109/TPWRD.2012.2209186.

ROCHA, R. C. C.; SOARES, M. R.; DA COSTA, L. A.; LA SALVIA, J. A.; LEME, R. P. New electrical connection technology for covered overhead distribution lines. **IEEE Journals & Magazines**. New Orleans, v. 2, p. 623 – 629, 1999. 0-7803-5935-6/00/2000.

ROCHA, R. C. C.; GOMES, E. M.; NISHIMURA, F.; CICARELLI, L. D.; SOARES, M. R. New technologies, standards and maintenance methods in spacer cable systems. **IEEE Transactions on Power Delivery**, Piscataway, v. 17, n. ..., p. 562-568, 2002. 0-7803-5935-6/00/2000 © IEEE. DOI: 10.1109/61.997939.

RUGGIERO, M. A. G.; LOPES, V. L. R. **Cálculo numérico, aspectos teóricos e computacionais**. São Paulo: Pearson e Makron Books do Brasil, 1988. p. 66-82.

SAMANEZ, C. P. **Engenharia econômica**. São Paulo: Pearson, 2009. p. 36-123.

SIMÕES, A. C.; PIAZZA, E. G. B. E.; ROMANELLI, N. W. Substituição de rede nua por rede compacta em redes existentes visando redução dos custos de manutenção. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA- SENDI, 19., 2010, SÃO PAULO. **Seminário...** São Paulo: [s.n.], 2010. p. 1-21.

TORRES, O. F. F. **Fundamentos da engenharia econômica e da análise econômica de projetos.** São Paulo: Thonson, 2006. p. 83-92.

WARD, E. BARRON F. H. **Improved simple methods for multiattribute utility measurement.** California: Organizational Behavior and Human Decision Processes, 1994. p. 306 – 325.

ZHOU, R; YANG, H.; DUAN, X.; XIN, J. **Simulating decision for power system planning based on multi-attribute fuzzy optimal selection.** San Francisco: IEEE, 2005. v. 2, p. 1419-1423. ISBN: 0-7803-9157.

Bibliografia

BALZER, G.; BOEHLE, B.; HANEKE, K.; KAISER, H. G.; PÖHLMANN, R.; TETTENBORN, W.; VOß, G. **Switchgear manual**. 9. ed. Mannheim: ABB Schaltanlagen GmbH, 2003. p. 351-359.

BANDEIRANTES ENERGIA - GRUPO EDP. **Estruturas para redes de distribuição aéreas compactas – detalhes de montagem - PT.DT.PDN.03.05.001 – versão 2**. São Paulo: Grupo EDP, 2015. Disponível em: <http://www.edp.com.br/distribuicao/edp-escelsa/informacoes/tecnicas/padrao-e-especificacoes-tecnicas/Documents/PT.DT.PDN.03.05.001%20v2.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2016.

BRITTES, J. L. P. et al. Substation smartening: an IEC based approach for utility smart analytics development. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SMART GRID SYSTEMS- ICSGS, 4., 2015, Lisbon. **Conferencia...** Lisbon: [s.n.], 2015.

CARMELO, M. Redes inteligentes (Smart Grid.) In: SEMANA CIENTÍFICA E CULTURAL DA ENGENHARIA ELÉTRICA, 30., 2011, Barretos. **Semana...** Barretos: UNIFEB, 2011. p. ...-...

CATÁLOGO FICAP. **Divisão cabos energia: cabos para linhas aéreas**. São Paulo: FICAP, 2014. Disponível em: <http://www.eletege.com.br/catalogos/ficap.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2014.

CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA- CELESC. **Manual de procedimentos sistema de desenvolvimento de sistemas de distribuição subsistema normas e estudos de materiais e equipamentos de distribuição código título folha I-313.0021 critérios para utilização de redes de distribuição padronização aprovação elaboração visto DVOG RES. DDI Nº 206/2012 – 06/12/2012 DVEN DPEP**. Florianópolis: CELESC, 2012. Disponível em: <http://www.celesc.com.br/portal/index.php/normas-tecnicas/especificacao-de-equipamentos-e-materiais>. Acesso em: 3 mar. 2014.

COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ- CPFL ENERGIA. **Padrão técnico distribuição, rede primária compacta 15kV e 25kV – conexões: número do documento 3585, instrução 1.8, 14 de jul. 2008**. Campinas: CPFL Paulista - GEG, 2008. Disponível em: <http://www.cpfl.com.br>. Acesso em: 18 set. 2012.

COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ - CPFL ENERGIA. **GED 2430 planejamento e controle da arborização na coexistência com o sistema elétrico**. Campinas: CPFL Paulista- GEG, 2006. Disponível em: <http://www.cpfl.com.br/>. Acesso em: 3 mar. 2014.

COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ - CPFL ENERGIA. **GED 3978 padrão técnico distribuição: cabo multiplexado isolado para 15kV e 25kV (S)**. Campinas: CPFL Paulista - GEG, 2007. Disponível em: <http://www.cpfl.com.br/>. Acesso em: 3 mar. 2014.

COSTER, E.; KERSTENS, W.; BERRY, T. Self-healing distribution networks using smart

controllars. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICITY DISTRIBUTION STOCKHOLM- C I R E D, 22., 2013, Stockholm. **Conference...** Stockholm: [s.n.], 2013. p. 1-4. Paper 0196. DOI: 10.1049/cp.2013.0603.

ELEKTRO. **ND.06:** materiais para redes aéreas isoladas de distribuição de energia elétrica-norma técnica. Campinas: [s.n.], 2014. Disponível em: <<http://www.elektro.com.br/>>. Acesso em: 3jul. 2014.

FAGUNDES, C. R. **Avaliação de acessórios poliméricos de redes compactas protegidas por meio de ensaio de multiestressamento e simulação computacional.** 2008. 90 f. Dissertação (Mestrado)– Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008. Disponível em: <<http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/144.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2014.

KAGAN, N.; GOUVEIA, M.; MAIA, F. C.; DUARTE, D.; LABRONICI, J.; GUIMARÃES, D. S.; NETO, A. B.; SILVA, J. F. R.; PARTICELLI, F. **Redes elétricas inteligentes no Brasil.** Rio de Janeiro: Synergia, 2013. p. 47-57, p. 159-193.

LAMIN, H. **Análise de impacto regulatório da implantação de redes inteligentes no Brasil.** 2013. 306 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica)– Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2013. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/biblioteca/trabalhos/trabalhos/Tese_%20Hugo_Lamin.pdf>. Acesso em: 12 out. 2014.

LANDINI, L. A. R. **A consolidação das redes de transmissão e de distribuição do sistema elétrico brasileiro em face da intervenção do estado na propriedade.** 2007. 251 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000419761>>. Acesso em: 12 abr. 2014.

MALDONADO, E. G. **Estudo da comunicação de um compensador série para rede de distribuição com o centro de controle utilizando tecnologia GPRS.** 2013. 98 f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2013. Disponível em: <http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/87155/guerreromaldonado_e_me_ilha.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 jul. 2014.

RONCOLATTO, R. A. Sistemas elétricos com redes protegidas: características técnicas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE PLANEJAMENTO URBANO, ARBORIZAÇÃO E SISTEMAS ELÉTRICOS – SIPASE, 2010, Belo Horizonte. **Conferencia...** Belo Horizonte: Cemig, 2010. p. 1-64.

SEGATTO, A. G. **Estudo e projeto de rede elétrica compacta protegida.** [S.l.]: Universidade Federal do Espírito Santo: Centro Tecnológico Departamento de Engenharia Elétrica, 2008. p. 23-89. Projeto de Graduação.

TORREZAN, R. et al. Plano de decenal da distribuição. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA- SENDI, 18., 2008, Olinda. **Anais...** Olinda: [s.n.], 2008. p. 1-12.

VELASCO, G. N. **Arborização viária x sistemas de distribuição de energia elétrica:** avaliação dos custos, estudo das podas e levantamento de problemas fitotécnicos. 2003. ... f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo- USP, Piracicaba, 2003.
