

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ (UTFPR)
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA.

KATIA TATIANE ALBANI
LORENE GOULART DA COSTA

**REDE DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA: COMPARATIVO TÉCNICO E
ECONÔMICO ENTRE A REDE CONVENCIONAL E A COMPACTA
NA REGIÃO DE ABRANGÊNCIA DE UMA CONCESSIONÁRIA DE
ENERGIA.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2017

KATIA TATIANE ALBANI
LORENE GOULART DA COSTA

**REDE DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA: COMPARATIVO TÉCNICO E
ECONÔMICO ENTRE A REDE CONVENCIONAL E A COMPACTA NA
REGIÃO DE ABRANGÊNCIA DE UMA CONCESSIONÁRIA DE
ENERGIA.**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de TCC2, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Me. Romildo Alves dos Prazeres

Co-orientador: Nardel Correa Peixoto

CURITIBA
2017

KATIA TATIANE ALBANI
LORENE GOULART DA COSTA

**REDE DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA: COMPARATIVO TÉCNICO E
ECONÔMICO ENTRE A REDE CONVENCIONAL E A COMPACTA NA
REGIÃO DE ABRANGÊNCIA DE UMA CONCESSIONÁRIA DE
ENERGIA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Curitiba, ____ de _____ de _____.

Banca Examinadora

Prof. Me. Romildo Alves dos Prazeres (Orientador)

Prof. Dr. Paulo Cícero Fritzen

Prof. Dr. Luiz Erley Schafranski

RESUMO

ALBANI, Katia Tatiane; COSTA, Lorene Goulart da. Rede de Distribuição Aérea: Comparativo Técnico e Econômico Entre a Rede Convencional e a Compacta na Região de Abrangência de uma concessionária de energia. 2017. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

Este trabalho apresenta uma abordagem no âmbito técnico e econômico entre a Rede de Distribuição Aérea Convencional (RDA) e a Rede de Distribuição Aérea Compacta Protegida (RDC). Visto que um grande problema enfrentado pelas concessionárias para melhorar o fornecimento de energia é a disputa de espaço com a arborização das ruas, uma vez que além de fornecer uma distribuição energética de qualidade, deve-se zelar pelo meio ambiente não realizando podas excessivas. Uma solução para esse problema é a implantação da RDC, pois ela é menos vulnerável que a RDA pois sofre menos interferências naturais e tem uma estrutura mais resistente visto que os seus condutores são protegidos. Assim, este trabalho tem o intuito de apresentar o estudo de caso entre os dois tipos de rede de distribuição mencionados e estipular em quais casos cada uma das redes se sobressai. Para tanto, foi realizado um levantamento de custos tanto para a RDA quanto para a RDC dando atenção a parâmetros como a implantação, manutenção e até mesmo a possibilidade de substituição de um tipo de rede pelo outro. Uma vez tendo conhecimento dos custos envolvidos nas redes convencionais e compactas, foi realizada uma pesquisa sobre o comportamento de tais redes em diversas situações de forma a efetuar a análise e comparação dos dados obtidos. Para que somente assim seja possível apresentar as possíveis vantagens e desvantagens de cada uma. Bem como as suas melhores aplicações.

Palavras chave: Energia elétrica. Rede de Distribuição Aérea Convencional. Rede de Distribuição Aérea Compacta Protegida. Estudo de caso.

ABSTRACT

ALBANI, Katia Tatiane; COSTA, Lorene Goulart da. Aerial Distribution System: Technical and economic comparison between the conventional and the compact grid in the region covered by an energy concessionaire. 2017. 63 f. Final paper (Graduation) – Electrical Engineering Course. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

This paper presents a technical and economical approach between the Conventional Aerial Distribution System (RDA) and the Protected Compact Aerial Distribution System (RDC). Since a big problem faced by the energy companies in order to improve the energy supply is the area conflict with the street's trees, once besides offer a quality electrical distribution, it is necessary to take care of the environment by don't doing excessive pruning. A solution to this problem is the implantation of the RDC, as it is less vulnerable than the RDA because it suffers less natural interferences and it has a more resistant structure than RDA since RDC's conductors are protected. Thus, this paper has the intention to present the comparison between the RDA and RDC in various situations and show which one is better in each one of these situations. Therefore, some information about the cost to implantation, maintenance and even so the possibility of the replacement from one kind of system for the other were gathered. Once these information were known, a research about their behavior in diverse situations was made in order to compare the results acquired. Only this way, the advantages and disadvantages of RDA and RDC are possible to be presented. As their possible applications.

Key words: Electrical energy. Conventional Aerial Distribution System. Protected Compact Aerial Distribution System. Comparison.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema do sistema elétrico desde a geração até a distribuição final.....	16
Figura 2 - Rede de Distribuição Aérea Convencional.....	18
Figura 3 - Espaçador losangular utilizado na Rede de Distribuição Aérea Compacta.....	22
Figura 4 - Rede de Distribuição Aérea Compacta.....	22
Figura 5 - Detalhe da fatura de energia de uma concessionária	31
Figura 6 - Exemplo de trecho com RDA.....	36
Figura 7 - Podas geradas pela RDA.....	37
Figura 8 - RDC em meio à arborização.....	37
Figura 9 - Comparação de danos causados em árvores pela RDC e RDA.....	38
Figura 10 - Modelo de fixadores.....	41
Figura 11 - Problemas nos fixadores.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custo médio para a implantação de rede aérea convencional.....	46
Tabela 2 - Custo médio para a ampliação em rede aérea compacta.....	46
Tabela 3 - Cálculo do custo para instalar rede área.....	47
Tabela 4 - Redução nos Custos de Manutenção.....	47
Tabela 5 - Índices DEC e FEC dos alimentadores 1 e 2.....	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Cronograma de atividades	15
Quadro 02: Cálculo dos indicadores de continuidade.....	28
Quadro 03 : Indicadores de apuração DEC e FEC	29
Quadro 04 : Indicadores de apuração DIC e FIC	30
Quadro 05: Metas ANEEL.....	32
Quadro 06: Aplicação de RDC Fonte: Autoras.....	54

LISTA DE MAPA

Mapa 01: Alimentador AL1	24
Mapa 02: Alimentador AL2.....	24

LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 01: Redução nos custos de manutenção.....	48
Gráfico 02: Evolução DEC (horas).....	49
Gráfico 03: Evolução FEC (horas).....	50
Gráfico 04: Índice FEC entre os alimentadores.....	52

LISTA DE SIGLAS

ANEEL - Agência nacional de Energia Elétrica

AT - Alta Tensão de Distribuição

BT - Baixa Tensão de Distribuição

COPEL - Companhia Paranaense de Energia

DEC - Duração equivalente de interrupção por unidade consumidora

DIC - Duração de interrupção por unidade consumidora

DICRI - Duração da interrupção individual ocorrida em dia crítico por unidade consumidora ou ponto de conexão

DMIC - Duração máxima de interrupção por unidade consumidora

DNAEE - Departamento nacional de águas e energia elétrica

FEC - Frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora

FIC - Frequência de interrupção individual por unidade consumidora ou por ponto de conexão.

MT - Média Tensão de Distribuição

PCH - Pequena central hidroelétrica

PRODIST - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

RDA - Rede de Distribuição Aérea Convencional

RDC - Rede de Distribuição Aérea Compacta Protegida

SEP - Sistema Elétrico de Potência

UC - Unidade Consumidora

XLPE - Polietileno reticulado termofixo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Tema.....	9
1.1.1 Delimitação do Tema	11
1.2 Problema e Premissas.....	11
1.3 Objetivos	12
1.3.1 Objetivo Geral.....	12
1.3.2 Objetivos Específicos	12
1.4 Justificativa	12
1.5 Procedimentos metodológicos	13
1.6 Estrutura do trabalho.....	14
2 REDE DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA CONVENCIONAL E REDE DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA COMPACTA: UTILIZAÇÃO E ASPECTOS GERAIS.....	15
2.1 Sistema elétrico de potência.....	15
2.1.1 Redes de Distribuição	16
2.1.2 Rede aérea convencional (RDA)	17
2.1.2.1 Manutenção	18
2.1.3 Rede aérea compacta protegida (RDC)	20
2.1.3.1 Manutenção	24
2.2 Qualidade de energia elétrica.....	26
3 COMPROMETIMENTO AMBIENTAL DAS REDES: INTERFERÊNCIA NO MEIO AMBIENTAL E PRESERVAÇÃO DA ARBORIZAÇÃO.....	35
3.1 Análise do uso da RDC e RDA em meios arborizados	35
3.2 Restrições na utilização da RDC nas áreas próximas à orla marítima	38
3.3 Aspectos de segurança entre as duas redes	39
3.4 Contaminação artificial de espaçadores e isoladores poliméricos	41
4 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE RDC E RDA	44
4.1 Projeto de redes	44
4.2 Aspecto econômico: Levantamento De Custo - Custo/Km.....	46
4.3 Aspecto técnico: Índices de Qualidade e Comparativo DEC e FEC	49
4.4 Estudo comparativo entre os alimentadores AL 1 e AL 2	51
5 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA RDC EM RELAÇÃO A RDA.....	55
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	58
7 REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA	59

1 INTRODUÇÃO

1.1 *Tema*

Essencial para vida humana desde seu descobrimento, a energia elétrica, vem apresentando novas formas de utilização nos últimos séculos, proporcionando facilidade nas atividades do dia-a-dia, além de ser o principal fator que impulsiona a economia no país, sendo possível a utilização de máquinas em indústrias potencializando e facilitando a produção de bens e produtos para a comodidade do homem. Em contrapartida, a falta dessa energia gera prejuízos econômicos para o setor industrial e desconforto para o consumidor residencial e comercial (CIPOLI, 1993).

Dessa forma, os órgãos nacionais que regulamentam o sistema de energia elétrica exigem cada vez mais eficiência das concessionárias, qualidade e confiabilidade. Sendo assim, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) criou indicadores para monitorar a qualidade do fornecimento de energia elétrica das empresas distribuidoras, os indicadores coletivos de Duração Equivalente de Continuidade (DEC) e o de Frequência Equivalente de Continuidade (FEC) registram, respectivamente, quantas horas em média por ano e quantas vezes o consumidor fica sem energia elétrica. Se alguma das distribuidoras não atinge a meta estabelecida pelos responsáveis, ficam sujeitas a multa (ANEEL, 2017).

O sistema elétrico de distribuição terá uma boa qualidade quando as concessionárias de fornecimento de energia elétrica tiverem como objetivo principal a qualidade da energia, para isso deve se basear em parâmetros de conformidade, indicadores de continuidade e atendimento ao consumidor (OLESKOVICZ, 2004).

Os diversos critérios usados para medir a qualidade de energia são definidos no momento de localizar e monitorar as subestações, escolher os materiais e equipamentos para o controle e a proteção, configurar e regularizar as redes de distribuição (OLESKOVICZ, 2004).

Porém, um grande problema enfrentado hoje pelas empresas de distribuição de energia elétrica para melhorar esse fornecimento é a disputa do espaço urbano com a arborização das ruas, pois ao mesmo tempo que deve ser garantido um fornecimento de qualidade para os consumidores, deve-se também zelar pelo meio ambiente. Outras fontes naturais de interferências como chuvas, descargas atmosféricas, vendavais, etc. também têm sido grandes empecilhos. Entretanto, tais problemas já possuem a rede compacta protegida

como uma solução viável, apesar de ser menos vulnerável às interferências naturais, além de ter uma estrutura mais resistente, ainda não é amplamente utilizada no sistema brasileiro de distribuição devido a fatores diversos (INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2016).

Sabe-se que a convivência harmônica entre as redes de distribuição de energia elétrica e a arborização viária é um dos grandes desafios para das prefeituras e concessionárias de energia elétrica nos diversos estados brasileiros. Na maioria das vezes este problema se agrava pelo fato de que a arborização e as implantações dos sistemas elétricos de distribuição são planejadas e realizadas de forma independente (VELASCO, 2003).

Os meios de transporte de energia elétrica para entrega ao consumidor são a rede de distribuição aérea convencional (RDA), a rede de distribuição aérea compacta protegida (RDC) e a rede de distribuição subterrânea (OLESKOVICZ, 2004).

A RDA é predominantemente o sistema mais utilizado no país, porém é muito vulnerável para a ação de intempéries, pois apresenta a utilização de cabos nus. A sua vulnerabilidade traz muitos problemas no fornecimento de energia como: os curtos circuitos, queima de transformadores, dos aparelhos domésticos e industriais, desligamento da rede, além de trazer transtornos nos hospitais, perdas financeiras e do bem maior da população que é a vida (VELASCO, 2003).

Entretanto, tais problemas já possuem a RDC como uma solução viável, além de aumentar a qualidade no fornecimento de energia e minimizar o conflito entre a natureza e a rede de distribuição. Esse tipo de rede é menos vulnerável a interferências naturais tais como chuva, ventos e árvores, torna o sistema mais confiável por usar cabos protegidos por uma camada de polietileno reticulado termofixo (XLPE) e ter uma estrutura mais resistente. Porém ainda não é amplamente utilizada no sistema brasileiro de distribuição devido a fatores diversos que serão abordados neste estudo, será também realizado um comparativo de utilização entre a Rede de Distribuição Aérea Convencional (RDA) e a Rede de Distribuição Aérea Compacta Protegida (RDC).

1.1.1. Delimitação do Tema

A interrupção, mesmo que temporária, no fornecimento de energia elétrica é um problema que afeta toda a população, geralmente são os agentes naturais como chuva, arborização das ruas, descargas atmosféricas, etc., os principais causadores. Um meio eficiente para a redução dessa complicação é a implantação das redes compactas protegidas na distribuição de energia elétrica.

1.2 Problema e Premissas

A rede aérea convencional e o sistema de distribuição mais antigo, tradicional e o mais utilizado no país, devido ao seu baixo custo. Esse sistema possui como principal desvantagem a vulnerabilidade a agentes naturais e os vandalismos, que são os agentes externos mais comum causadores de interrupções no fornecimento de energia (AZEVEDO, 2010).

A rede compacta protegida é mais resistente aos agentes naturais e por isso, acaba se tornando, de uma forma geral, uma melhor alternativa (VELASCO, 2013).

Entretanto, o maior problema está no investimento financeiro a ser feito pela concessionária e pelos transtornos causados para os consumidores, pois a readaptação do sistema exige que o fornecimento de energia seja interrompido temporariamente nas áreas em manutenção. Por outro lado, o custo benefício a longo prazo seria positivo, pois a rede compacta protegida exige menos manutenção e é muito mais segura e confiável (ANEEL, 2017).

A falta de atendimento de energia elétrica com qualidade na entrega final para o usuário final, a demora em resolver problemas ou manutenções nas redes de distribuição tem se tornado cada vez mais frequentes nas redes aéreas de distribuição de energia elétrica no país (AZEVEDO, 2010).

1.3 *Objetivos*

1.3.1. *Objetivo Geral*

Elaborar uma análise das redes de distribuição aéreas convencionais e compactas levando em consideração os fatores técnicos e econômicos envolvidos em sua implantação e manutenção. Para que desta forma seja possível expor todos os dados que devem ser considerados para a realização de melhorias significativas tanto na qualidade da energia elétrica como na sua manutenção, devido à redução de danos externos ao sistema elétrico que a rede compacta proporciona além de contribuir para a preservação do meio ambiente.

1.3.2. *Objetivos Específicos*

- Revisão bibliográfica sobre conceitos, projetos e manutenção de RDA e RDC;
- Estudo sobre Índices de qualidade;
- Análise do comportamento das redes em meios urbanos e seu impacto no meio ambiente;
- Levantamento de dados de Custo - Custo/Km;
- Estudo sobre o aspecto técnico: Comparativo DEC e FEC;
- Realizar o comparativo entre a rede compacta e a rede convencional;
- Apresentar as principais vantagens e desvantagens do uso das redes de distribuição convencional e compacta.

1.4 *Justificativa*

Este trabalho tem como objetivo estudar os parâmetros de conformidade, atendimento ao consumidor e principalmente a continuidade que determina a performance das concessionárias no fornecimento de energia elétrica.

Mostrar a fragilidade da rede de distribuição convencional que está relacionada a agentes naturais e descargas atmosféricas, que afetam sua estabilidade provocando danos às estruturas e consequentemente longos períodos de interrupção (AZEVEDO, 2010).

As redes convencionais oferecem maiores riscos, além de degradar o meio ambiente, pois possuem cabos livres de proteção e serem vulneráveis a fatores que podem interromper o fornecimento de energia elétrica, problema esse que afeta diretamente a economia pois qualquer falha no fornecimento pode gerar grandes prejuízos financeiros. Sendo assim, o consumidor espera que a qualidade da distribuição da energia elétrica seja confiável e atenda às suas expectativas (GARCIA, 2006).

Por exigência da ANEEL (registrada no módulo 8 do PRODIST), o fornecimento de energia deve ser contínuo e de qualidade, por isso as concessionárias estão cada vez mais investindo em tecnologias de modo a melhor atender os consumidores, sendo a rede compacta protegida uma alternativa para melhorar os padrões de distribuição por ser isolada, possuir cabo de aço zincado torna o sistema mais seguro e confiável, pois é menos suscetível as adversidades naturais, além de diminuir riscos ao ser humano e causar menos danos ao meio ambiente pois ocupam um menor espaço, evitando assim podas excessivas (AZEVEDO, 2010).

Como alternativa para minimizar os problemas de falhas de energia, o uso de redes compactas de distribuição de energia elétrica e o mais indicado, por ser menos vulnerável às agressões naturais e dar maior segurança e confiabilidade ao sistema. Cabe destacar, ainda, que as redes aéreas compactas protegidas causam menor impacto no meio ambiente, tendo em vista que convivem de maneira harmoniosa com a arborização e minimizam os fatores de risco aos seres humanos (AZEVEDO, 2010).

1.5 Procedimentos metodológicos

Este trabalho se configura em uma pesquisa de caráter qualitativo e bibliográfico, faz uso de documentos disponibilizados pela ANEEL, dados fornecidos por uma concessionária de energia, revisões bibliográficas de livros, normas e artigos de revistas e internet, trabalhos acadêmicos e de literatura de ensino específicos para o levantamento dos dados necessários para a sua realização.

A distribuição da energia elétrica pode ser realizada de inúmeras maneiras, porém neste artigo, será dada maior ênfase na distribuição aérea, especificamente na RDA e na RDC.

Desta forma, primeiramente foi realizado um estudo fazendo-se uso das fontes de dados previamente mencionadas. E, tendo em vista que o presente artigo envolve análises de âmbito econômico, também serão estudados alguns aspectos da área da economia.

Em seguida, será feito um levantamento de custo para os dois tipos de redes aqui citados. O intuito desta parte é levar em consideração todos os possíveis custos gerados pelas duas redes, dando atenção a parâmetros como a implantação, manutenção e até mesmo a possibilidade de substituição de um tipo de rede pelo outro.

Sabendo-se dos custos gerados, o passo seguinte se torna a pesquisa sobre o comportamento das redes aqui citadas em diversas situações de forma a efetuar a análise e comparação dos dados obtidos. Para que somente assim seja possível apresentar as possíveis vantagens e desvantagens de cada uma.

Nas considerações finais, será exposto as principais descobertas encontradas durante a realização deste trabalho.

1.6 Estrutura do trabalho

Este trabalho é constituído de seis capítulos com referência bibliográfica no final. O 1º Capítulo é constituído da apresentação do tema, problemas, objetivos principais e metodologia da pesquisa. O 2º Capítulo é destinado a rede de distribuição aérea convencional (RDA) e rede de distribuição aérea compacta (RDC): Utilização e aspectos gerais. O 3º Capítulo traz o comprometimento ambiental das redes: Interferência no meio ambiental e Preservação da arborização. O 4º capítulo apresenta análise comparativa entre RDC e RDA. O 5º Capítulo mostra as vantagens e desvantagens da RDC em Relação a RDA. Por fim, o 6º Capítulo apresenta as conclusões finais do trabalho.

2 REDE DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA CONVENCIONAL E REDE DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA COMPACTA: UTILIZAÇÃO E ASPECTOS GERAIS

2.1 *Sistema elétrico de potência*

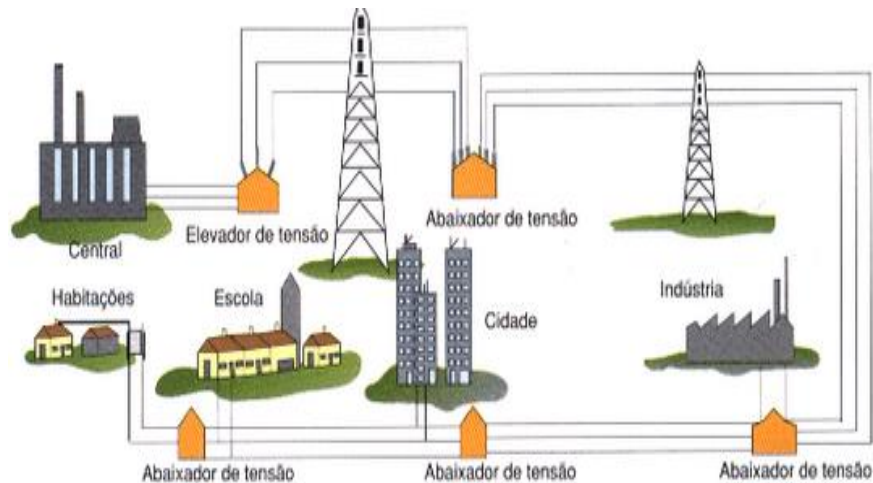
O Sistema Elétrico de Potência (SEP) é definido como o conjunto de todas as instalações e equipamentos destinados à geração de energia elétrica, sua transmissão e distribuição até os seus consumidores, atendendo a determinados padrões de confiabilidade, disponibilidade, qualidade, segurança e custos, com o mínimo impacto ambiental e o máximo de segurança pessoal (PRAZERES, 2008).

Estar disponível e ser confiável são importantes características do SEP e são expressadas em porcentagem. A confiabilidade representa a probabilidade dos componentes, são realizadas por partes e sistemas requeridas, sem obter falhas durante um dado período de tempo. Não mostra o tempo necessário que a unidade precisa para ser reparada e voltar a funcionar. Disponibilidade se define como a probabilidade do sistema quando estiver operando de forma adequada e é requisitada para uso, ou seja, é a probabilidade de um sistema quando requisitado para o uso, não estar com defeito ou sendo reparado (PRAZERES, 2008).

No presente artigo, será abordada a parte de distribuição do SEP. Nas redes de distribuição, os índices mais importantes para a verificação da confiabilidade e disponibilidade do sistema são o DEC e o FEC. Estes registram respectivamente a duração e a frequência da interrupção por Unidade Consumidora (UC).

Na figura 1 é possível visualizar um desenho esquemático do sistema elétrico da geração até a distribuição final.

Figura 1 - Esquema do sistema elétrico desde a geração até a distribuição final



Fonte: ELECTROATIVIDADE, 2016.

2.1.1. Redes de Distribuição

O sistema de distribuição de energia elétrica conecta o sistema de geração e transmissão ao consumidor final de forma a alimentar desde consumidores de grande e médio porte (industriais, hospitais, grandes consumidores comerciais e de serviços) até consumidores de pequeno porte (residenciais, pequenos comércio). As redes de distribuição são compostas por linhas de alta, média e baixa tensão (CIPOLI, 1993).

Segundo o Módulo 1 do PRODIST da ANEEL, os níveis de tensão de distribuição são assim classificados:

- Alta Tensão de Distribuição (AT): tensão entre fases cujo valor eficaz é igual ou superior a 69kV e inferior a 230kV.
- Média Tensão de Distribuição (MT): tensão entre fases cujo valor eficaz é superior a 1kV e inferior a 69kV.
- Baixa Tensão de Distribuição (BT): tensão entre fases cujo valor eficaz é igual ou inferior a 1kV.

Para consumidores de pequeno porte, a energia chega através de ramais de ligação, pela rede de baixa tensão (entre 110 e 440 V) já para grandes e médios consumidores a energia chega diretamente das redes de média tensão, onde cabe a cada consumidor transforma-la em um nível de tensão menor para sua utilização (CIPOLI, 1993).

Segundo dados da Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica – ABRADEE (2016), a maioria dos consumidores ligados no sistema é residencial.

O Brasil contava, em 2015, com mais de 77 milhões de (UC), termo que corresponde ao conjunto de instalações/equipamentos elétricos caracterizados pelo recebimento de energia elétrica em um só ponto de entrega, com medição individualizada e correspondente a um único consumidor. Do total de UCs brasileiras, 85% são residenciais (ABRADEE, 2016).

2.1.2. Rede aérea convencional (RDA)

As redes de distribuição convencionais possuem o menor grau de confiabilidade, pois não há nenhuma proteção contra toques aos condutores, já que todos os condutores são nus. Em caso de toques de uma árvore por exemplo, o nível da corrente de curto circuito é alto, fazendo com que a proteção opere. Além disso, acidentes podem ocorrer neste tipo de rede, pois no caso de contato ocorrerá um choque com uma diferença de potencial de 13,8 kV em caso de fase-fase ou 7,97 kV se for curto-circuito monofásico, sendo este o mais comum (BRITO, 2007).

É composta basicamente por postes de concreto circular ou duplo “T”, cruzetas, isoladores, para-raios, braço de iluminação pública; condutores; transformadores, bancos de capacitores, chaves corta-circuito e cabos de alumínio (RIBEIRO, 2008).

Este sistema de distribuição foi criado há cerca de 60 anos e apresenta uma saturação tecnológica, ou seja, o uso excessivo e prolongado de tecnologia a partir de uma acomodação que se formou enquanto os interesses em utilizar uma nova alternativa eram sempre menores do que a soma de outros interesses envolvidos. É o tipo de rede de distribuição com o menor custo agregado à sua implantação, sendo até o presente momento o mais comumente encontrado pelo país (CORTES, 2016).

A rede de distribuição primária aérea existe dessa maneira convencional desde a época em que a transmissão de eletricidade foi criada. Quase nada foi alterado em relação aos elementos do sistema que continuam com os mesmos nomes. Somente os postes deixaram de ser de madeira ou ferro para tornarem-se de concreto armado e as cruzetas que antes eram de madeira passaram a ser de concreto. Os isoladores continuam sendo de vidro ou de cerâmica, sendo que somente nessa década passou-se a utilizar com frequência isoladores de material

polimérico. Os cabos continuam sendo de alumínio nu e a manutenção feita com o auxílio de escadas (PINHEIRO, 2008).

Por não possuírem proteção ou isolação alguma, este tipo de distribuição é o que mais está susceptível à ocorrência de defeitos. Sendo estes predominantemente causados por galhos de árvores, linhas ou cordas derivadas de brincadeiras infantis entre outros objetos que venham a entrar em contato com os condutores da rede. Com o intuito de evitar ao menos as faltas geradas pelas árvores próximas à RDA, são feitas grandes e constantes podas nessas árvores, o que prejudica o meio ambiente (CORTES, 2016).

A figura 2 ilustra uma rede de distribuição aérea convencional.

Figura 2 - Rede de Distribuição Aérea Convencional



Fonte: G1, 2016.

Para diminuir o número de interrupções e aumentar a confiança do sistema é preciso manter manutenções e inspeções que atendem os requisitos legais e a segurança.

2.1.2.1 Manutenção

A manutenção das partes indispensáveis do sistema elétrico é realizada na área de distribuição de energia, onde devem ser mantidos elevados os níveis de eficiências refletidos em índices de disponibilidade (COPEL, 2010).

Para se manter um bom índice de manutenção nas redes de distribuição, é necessário que as concessionárias de energia elétrica disponham de mão de obra qualificada, que esteja apta a atuar nas soluções de falhas emergenciais e na prevenção de futuros problemas. Para manter a segurança dos profissionais toda a manutenção da RDA deve ser executada de forma desenergizada (ANEEL, 2017).

A cobrança tem sido constante do órgão regulamentador em relação aos índices de continuidade do fornecimento de energia, pois a maioria dos consumidores não pode ficar sem o serviço, por isso as concessionárias vêm utilizando a linha-viva para a equipe realizar as manutenções (AZEVEDO, 2010).

Realizar a manutenção preventiva é um fator muito importante para o funcionamento do sistema na RDA, essa manutenção está ligada às inspeções visuais em diversos componentes que compõem a rede. Dentre esses componentes podemos citar os isoladores, postes, cabos, chaves, para-raios, transformadores, entre outros (AZEVEDO, 2010).

Toda vez que ocorre uma falha na estrutura ou no equipamento da RDA, deve-se realizar a manutenção corretiva, essa atividade pode gerar alguns problemas nos índices de confiabilidade que são fiscalizados pelo órgão regulamentador. Algumas equipes utilizam o termovisor que é um equipamento mais sofisticado e que tem a função de localizar os pontos de RDA superaquecidos, devido às sobrecargas ou que estejam com algum contato oxidado e funcionando de forma inadequada (ANEEL, 2017).

Para evitar problemas como esse, o período em que ocorre a falha e o seu reparo deve ser o menor possível, evitando dessa forma privar os consumidores da falta de energia elétrica ou, em casos como o de cabo caído sobre o solo, estruturas, árvores ou veículos, prevenir que ocorram sérios riscos de acidente com eletricidade (BRITO, 2007).

A ANEEL cita os principais problemas que leva as concessionárias a realizar a manutenção preventiva:

- Rompimento de cabos em função de quedas de árvores;
- Sobrecarga ou oxidação;
- Cruzetas e postes quebrados em função da incidência de ventos;
- Ou colisões de veículos com a estrutura;
- Transformadores queimados devido às sobrecargas ou descargas atmosféricas;
- Isoladores e para-raios danificados em função de descargas violentas ou por atos de vandalismo;

- Estais arreventados e chaves danificadas devido à desgastes.

Por ser o padrão de rede elétrica mais encontrado nos pontos consumidores do Brasil e por se tratar de uma modalidade de rede de baixo custo de instalação com uma forma mais rústica, vem sendo utilizada em larga escala desde o passado. Atualmente, as concessionárias brasileiras têm buscado instalar outras modalidades de rede, visando ganhos com segurança, confiabilidade de fornecimento e menores custos de manutenção (BRITO, 2007).

2.1.3. Rede aérea compacta protegida (RDC)

A Rede de Distribuição Aérea Compacta é formada por um conjunto de equipamentos composto por cabo de aço, condutores cobertos e espaçadores losangulares, confeccionados em material polimérico. Construtivamente a sustentação da rede compacta é feita através do cabo de aço, sendo este denominado de cabo mensageiro. O cabo mensageiro é fixado aos postes por meio de braços metálicos (RIBEIRO, 2016). Na figura 4 é possível observar um trecho de uma RDC.

Em 1994, a concessionária de energia em estudo assinou um convênio no Brasil com alguns fabricantes de materiais poliméricos e em 1995 foram substituídos seis quilômetros de RDA do alimentador denominado Getúlio Vargas por RDC. Foi através desse alimentador que tiveram a avaliação do grau de deterioração destes materiais antes e após a aplicação em campo.

As primeiras redes compactas construídas no Brasil surgiram nos anos 90 sendo que a CEMIG – Companhia Energética do Estado de Minas Gerais iniciou-se a construção dessa rede a partir de 1991. No estado do Paraná, a COPEL iniciou os primeiros passos para utilização desta topologia de rede em 1993. No ano seguinte, foi a vez de Maringá, por ter uma grande área arborizada, foi a primeira cidade do estado a utilizar a RDC (LINERO, 2003).

Com a implantação de 100% das redes urbanas compactas protegidos em pleno funcionamento e sendo a primeira cidade brasileira a usar essa rede, Maringá passou a ser a cidade multiplicadora desta nova tecnologia para outras regiões do estado e para outras concessionárias do país (SARDETO, 1999).

Visando o aumento da confiabilidade no setor da distribuição, foi desenvolvida a RDC. É composta basicamente (além dos postes e demais equipamentos citados na RDA) de um espaçador losangular (ilustrado na figura 3) no qual estão atrelados: um cabo guia de aço e três condutores encapados ou protegidos em sua maioria por polietileno reticulado (XLPE) (COPEL, 2014).

O XLPE foi escolhido por possuir uma grande resistência mecânica à abrasão e à altas temperaturas, fazendo dele um ótimo material para a proteção dos condutores. Esta proteção é suficiente para manter os elétrons confinados no interior do condutor, entretanto, insuficiente para confinar o campo elétrico gerado pelo deslocamento dos mesmos (corrente elétrica) (COPEL, 2014)

Devido a este fato, a RDC não deve ser considerada isolada, apenas protegida. Em consequência da sua proteção, a RDC apresenta uma maior confiabilidade ao sistema, além de necessitar menos manutenções preventivas e reduzir drasticamente o volume das podas necessárias em ruas com arborização próximas à rede. Ademais, o separador losangular é notavelmente compacto, fazendo com que a RDC ocupe um espaço reduzido, amenizando consideravelmente a poluição visual comumente gerada pelas redes de distribuição. (RIBEIRO, 2016).

Figura 3 - Espaçador losangular utilizado na Rede de Distribuição Aérea Compacta



Fonte: PLP, 2017.

Figura 4 - Rede de Distribuição Aérea Compacta



Fonte: STRUTTURALI, 2016.

Os locais apropriados para instalações da rede de distribuição aérea compacta são todos aqueles com elevado índice de interferências externas, que propiciem toques eventuais de objetos e nas regiões densamente arborizadas (GOMES, 2010).

A rede de distribuição compacta é uma solução tecnológica que possibilita as empresas concessionárias de energia melhorar os níveis de qualidade de energia, segurança e confiabilidade no fornecimento da energia elétrica, comparada a rede aérea nua convencional. Isto ocorre devido ao menor número de pontos em contato com as estruturas que possam tornar-se perigosos em caso de contato direto ou indireto, isto é, os cabos estão normalmente afastados dos postes. Isto é exatamente o contrário do que ocorre na RDA, onde os cabos nus são apoiados sobre isoladores e com o rompimento acidental destes, todo o poste passa a ser energizado (GOMES, 2010).

Na RDA, uma simples queda do galho certamente causará o curto-circuito, provocando a atuação do sistema de proteção e o conseqüentemente o desligamento do circuito. Mas na RDC não será sempre que a queda de galhos e o contato permanente com os cabos protegidos vai provocar curtos-circuitos, desde que a capa protetora dos cabos não seja danificada pelos galhos (OLIVEIRA, 2010).

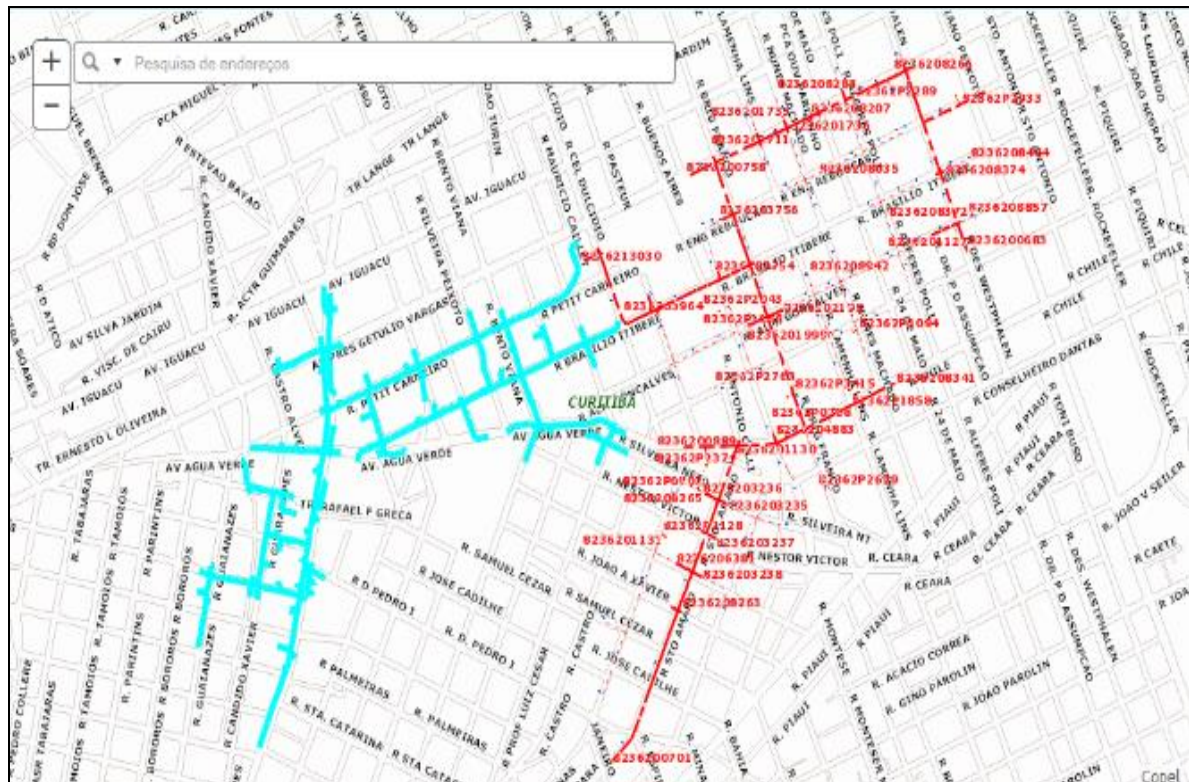
Assim como nas redes convencionais, nas redes compactas são utilizadas chaves fusíveis com elos de expulsão e religadores automáticos para proteção contra curtos-circuitos e sobrecorrentes. Para surtos de tensão utilizam-se os dispositivos para-raios, além do próprio

mensageiro ter a função de um cabo guarda, já que este é aterrado a cada 300 m (NETO, 2011).

Em um vão de 40 m, há pelo menos cinco espaçadores losangulares poliméricos. Desta forma, a rede compacta deve ser instalada sempre em lugares com acesso para troca desses espaçadores, quando estes necessitarem de manutenção. Contudo observa-se que a rede compacta somente poderá ser instalada próximo de estradas ou ruas, facilitando o acesso as estruturas do sistema (OLIVEIRA, 2010).

A rede compacta também necessita de poda de árvores, pois o toque permanente fará com que ocorra a queima do cabo, já que o cabo protegido não tem o confinamento do campo elétrico, este fenômeno ocorre devido a intensificação das linhas de campo elétrico nos pontos em que a cobertura do condutor toca a parte aterrada dos galhos e folhas da vegetação (OLIVEIRA, 2010). No mapa 1 e mapa 2 temos trechos do alimentador AL 1 e do alimentador AL 2, regiões de Curitiba onde se usa a topologia de rede compacta.

Mapa 01: Alimentador AL 1



Fonte: Concessionária de energia

A manutenção corretiva da RDC está em contato com problemas de fixação dos cabos nos isoladores losangulares, cuja danificação é provocada por agentes naturais como a ação dos ventos, quedas de galhos de árvores e ressecamento do próprio material. Por outro lado, a manutenção preventiva vai além de podas, inspeções visuais em seus diversos componentes como isoladores, postes, cabos, chaves, para-raios, transformadores, entre outros (NETO, 2011).

A ocorrência de curtos circuitos, acontece na maioria das vezes quando ocorre o rompimento dos cabos e os mesmos ficam jogados nas árvores, calçadas, ruas, avenidas e veículos estacionados próximos ao ocorrido, colocando em risco a vida das pessoas que eventualmente estejam passando por estes pontos. Quando ocorre a elevação dos custos operacionais e de manutenção, é porque as concessionárias tiveram que arcar com o ressarcimento de danos provocados em equipamentos de consumidores. Para muitos, mesmo que os danos sejam pagos pelas concessionárias, ocorrem prejuízos por ficarem impossibilitados de utilizar seus equipamentos (GOMES, 2010).

A falta de um bom planejamento e de manter a manutenção das podas da arborização urbana, gera dificuldades na operação das redes de distribuição nos períodos noturnos, podendo deixar em risco os eletricitistas que estão trabalhando no local. Também gera problemas na localização dos defeitos causados por desligamentos dos alimentadores resultantes da atuação dos equipamentos de proteção e nas ampliações das redes de distribuição de energia elétrica e melhorias no sistema de iluminação pública (NETO, 2011).

Ao utilizar a RDC, preserva-se a copa das árvores, por não haver necessidade de realizar a poda em V que é praticada com o objetivo de eliminar os galhos que interferem com RDA e por consequência diminui a iluminação pública (PROCEDIMENTOS DE PODA..., 2016).

A formação de túneis verdes, por onde passam os cabos protegidos é outra vantagem do uso da RDC, devido ao fato de apresentarem dimensões reduzidas eles beneficiam a arborização urbana. Com isto as concessionárias diminuem os gastos de distribuição de energia elétrica com as podas de árvores, com as manutenções, liberação dos cabos e com isso diminui os riscos de acidentes e os cortes de energia ficam reduzidos (SARDETO, 1999).

Ao fazer a configuração das estruturas da RDC utilizando os cabos com camada protetora em XLPE, consegue-se reduzir as distâncias de segurança ao redor dos cabos e dessa forma diminuir a área de poda das árvores. Em relação as concessionárias, ocorrerá a

diminuição dos custos operacionais, de manutenção e da incidência de solicitações de ressarcimento de danos provocados em equipamentos de consumidores (GOMES, 2010).

2.2 *Qualidade de energia elétrica*

A qualidade de fornecimento é medida por indicadores que monitoram o desempenho das distribuidoras quanto à continuidade do serviço prestado. O DEC - Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora indica o número de horas em média que um consumidor fica sem energia elétrica durante um período. O FEC - Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora indica quantas vezes, em média, houve interrupção na unidade consumidora. É a partir do DEC e do FEC que a ANEEL estabelece os parâmetros individuais de continuidade (DIC, FIC, DMIC E DICRI) e que são informados mensalmente na conta de energia elétrica do consumidor.

- Duração de interrupção individual por unidade consumidora (DIC): Intervalo de tempo que, no período de apuração, em cada unidade consumidora ou ponto de conexão, ocorreu descontinuidade da distribuição de energia elétrica;
- Duração máxima de interrupção contínua por unidade consumidora ou ponto de conexão (DMIC): Tempo máximo de interrupção contínua de energia elétrica, em uma unidade consumidora ou ponto de conexão; e
- Duração da interrupção individual ocorrida em dia crítico por unidade consumidora ou ponto de conexão (DICRI): Corresponde à duração de cada interrupção ocorrida em dia crítico, para cada unidade consumidora ou ponto de conexão.

Os limites dos indicadores DIC e FIC são definidos para períodos mensais, trimestrais e anuais. O limite do indicador DMIC é definido para períodos mensais. O limite do indicador DICRI é definido para cada interrupção em dia crítico. O assunto está regulamentado no Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição - PRODIST (SILVA, 2006).

Quando os indicadores individuais de continuidade são transgredidos, a distribuidora deve compensar financeiramente o consumidor. Os valores são informados pela concessionária e fiscalizados pela ANEEL.

A continuidade de fornecimento é, em geral, avaliada pelas empresas de distribuição a partir das ocorrências na rede de distribuição. Nota-se que, de uma forma geral, os indicadores relacionados à frequência das interrupções, FEC e FIC, refletem o estado físico da rede, o grau de agressividade e a eficiência da manutenção, enquanto que os relativos à duração, DEC e DIC, estão intimamente ligados a fatores como o dimensionamento e o posicionamento das equipes de atendimento de emergência, a coordenação da proteção e a facilidade de localização da falha (VELASCO, 2013).

A contabilização da qualidade do serviço fornecida a estes consumidores ou relacionada a este sistema de distribuição é avaliada após um determinado período, como determina o órgão regulador, mensalmente, trimestralmente ou anualmente. Para o cálculo dos indicadores de continuidade (coletivos ou individuais, controlados ou não pela ANEEL), serão definidas algumas variáveis exibidas no quadro 02.

Quadro 02: Cálculo dos indicadores de continuidade

Cálculo dos indicadores de continuidade
<p>Ca (i) – Número de unidades consumidoras atingidos pela interrupção “i”, no período de apuração;</p> <p>t (i) – Duração da interrupção de suprimento “i”, usualmente em minutos;</p> <p>i – Índice de eventos ocorridos no sistema que provocam interrupções em uma ou mais unidades consumidoras;</p> <p>k – Número de eventos no período considerado;</p> <p>Cc – Número total de unidades consumidoras do conjunto considerado;</p> <p>n – Número de interrupções da unidade consumidora ou do ponto de conexão considerada, no período de apuração;</p> <p>t (i) Max. – Valor correspondente ao tempo da máxima duração de interrupção (i), no período de apuração, verificada na unidade consumidora ou ponto conexão.</p>

Fonte: ANEEL, 2016.

(DEC) - Duração Equivalente de Interrupção Por Unidade Consumidora e o índice que expressa basicamente quanto tempo a partir da ocorrência da falta do fornecimento, a concessionária demorou em restabelecer a normalidade. Assim pode-se concluir que quanto maior esse índice, maior foi a demora na manutenção corretiva, motivada pela falta de estrutura operacional ou dificuldades específicas àquele tipo de linha. Nesse caso ainda pode-se associar basicamente a problemas em elementos da rede primária. Dado por:

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^k Ca(i) \times t(i)}{Cc}$$

(FEC) – Frequência Equivalente de Interrupção Por Unidade Consumidora é a frequência com que ocorrem as interrupções, é um índice que expressa basicamente quantas vezes está havendo falta naquele conjunto de consumidores. Assim pode-se concluir que quanto maior esse índice, pior é a qualidade da rede primária, já que atinge um número grande de consumidores. Expresso por:

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^k Ca(i)}{Cc}$$

O período de apuração dos indicadores de DEC, FEC são definidos como o intervalo de tempo entre o início e o fim da contabilização das interrupções de fornecimento de energia elétrica dos consumidores de um determinado universo de apuração. São utilizados os períodos mensais, trimestrais e anuais, sendo que as apurações mensais são realizadas para cada um dos meses do ano e as trimestrais correspondem a cada trimestre civil. Já as apurações anuais, que também são realizadas mensalmente, englobam todas as interrupções das apurações mensais dos últimos 12 meses, incluindo-se o mês de apuração (VELASCO, 2013). No quadro 03 estão listados indicadores de apuração DEC e FEC.

Quadro 03: Indicadores de apuração DEC e FEC

Exemplo de indicadores de apuração de DEC e FEC
Sistema de Distribuição da Empresa: Inclui todos os consumidores atendidos em tensão de distribuição. Considera, portanto, todos os consumidores atendidos com tensão nominal igual ou inferior a 34,5kV.
Sistema de Distribuição de Área de Concessão onde se inclui todos os consumidores das áreas de concessão atendidas em tensão de distribuição.
Conjunto de Consumidores: Inclui todos os consumidores pertencentes a cada um dos conjuntos em vigor e definidos pelo ANEEL.

Fonte: ANEEL, 2016.

(DIC) Duração das interrupções do consumidor considerado, expresso em horas que consiste no intervalo de tempo em que um determinado consumidor privou-se do fornecimento de energia elétrica.

$$DIC = \sum_{i=1}^N t(i)$$

(FIC) Frequência das interrupções do consumidor considerado que exprime o número de interrupções ocorridas para um determinado consumidor, no período de observação, considerando-se as interrupções maiores ou iguais a três minutos.

$$FIC = N$$

O quadro 04 exhibe os indicadores de apuração DIC e FIC.

Quadro 04: Indicadores de apuração DIC e FIC

Exemplo de indicadores de apuração do DIC e FIC
Consumidores atendidos por sistema subterrâneo;
Consumidores atendidos em alta tensão;
Consumidores atendidos em média tensão situados em zona urbana;
Consumidores atendidos em baixa tensão situados em zona urbana, inclusive os pertencentes a conjuntos com menos de 1000 consumidores;
Consumidores localizados em zona rural;

Fonte: ANEEL, 2016.

No caso de violação dos padrões dos indicadores de continuidade de conjunto em determinado período de apuração, a concessionária pode sofrer as penalidades previstas na resolução normativa nº. 63 de 12 de maio de 2014, que vão desde advertência até multa de 2% do faturamento da empresa e suspensão da participação em licitações (ANEEL, 2000).

Em março de 2006, as concessionárias passaram a disponibilizar na fatura de energia elétrica dos pontos consumidores, informações sobre o direito do consumidor em receber a diferença quando ocorrer da violação dos padrões de continuidade individuais, da unidade consumidora de sua responsabilidade. A solicitação dessas apurações pode ser requerida na concessionária a qualquer momento (indicadores DIC e FIC).

A figura 5 ilustra a fatura de energia elétrica, onde consta os dados do consumidor, valor a ser pago, data de vencimento, unidade consumidora, aviso de débitos vencidos caso existam, informações técnicas, indicadores de qualidade e valores faturados.

Figura 5 – Detalhe da fatura de energia de uma concessionária de energia

CEP: _____ CURITIBA - PR
 CPF: _____

Vencimento

Valor a Pagar

Responsavel pela manutencao da Iluminacao Publica - Municipio 156

Reaviso de Vencimento

Ha debitos vencidos que sujeitam sua unidade consumidora ao corte de energia. Apos o corte, caso nao haja religacao em 3 meses, seu contrato com a Copel sera encerrado. Neste periodo, havera cobranca conf. legislacao. Se estiver pago, desconsidere esta mensagem. Existindo atividade acessoria, o valor pode ser excluido da fatura.

Referencia	Valor
06/2017	64,75

Informações Técnicas

No. Medidor: 0344413471 - MONOFASICO Mes Referencia: 07/2017

Leitura Anterior	Leitura Atual	Medido	Constante de Multiplicacao	Total Faturado	Consumo Medio/Dia	Data Apresentacao
15/06/2017 1377	17/07/2017 1454	32 dias 107 kWh	1,00	107 kWh	3,34 kWh	17/07/2017

Proxima Leitura Prevista: 16/08/2017 RESIDE/RESIDENCIAL

Indicadores de Qualidade

Conjunto: BATEL Mes 05/2017 Tensao Contratada: 127 volts

Realizado Mensal	DIC	FIC	DMIC	EUSD (R\$)	Limite faixa adequada de Tensao
4,47 h	0,00 h	0,00 h	2,43 h	19,39	117 - 133 volts

Limite Trimestral: 8,95 h 5,97
Limite Anual: 17,91 h 11,95

MES	06/17	05/17	04/17	03/17	02/17	01/17	12/16	11/16	10/16	09/16	08/16	07/16
CONS	95	102	86	107	102	67	93	92	99	83	103	120
PGTO		09/06	26/06	07/04	06/03	07/02	09/01	07/12	07/11	07/10	06/09	09/08

Valores Faturados

NOTA FISCAL CONTA DE ENERGIA ELETRICA no. 2407629 Serie B
Emitida em 17/07/2017

Produto Descricao	Un.	Consumo	Valor Unitario	Valor Total	Base de Calculo	Aliq. ICMS
01 ENERGIA ELETRICA CONSUMO	kWh	107	0,679224	72,57	72,57	29,00%
02 ENERGIA CONS. B. AMARELA	kWh			1,76	1,76	29,00%
03 CONT. ILLUMIN. PUBLICA MUNICIPI				4,05		
04 MULTA SOBRE ILLUMINACAO PUBLI				0,08		
05 MULTA POR ATRASO NO PAGAMENT				1,31		
06 JUROS CONTA ANTERIOR				0,04		
Base de Calculo do ICMS		74,33	Valor ICMS	21,55	Valor Total da Nota Fiscal	79,81

Composicao dos Valores:
Energia: 27,20
Distribuicao: 14,67
Transmissao: 2,20
Tributos: 26,72
Encargos: 3,54
TOTAL: 74,33

Reservado ao Fisco
9866.60FE.DD87.E62A.CF83.17DD.B121.A40A

INCLUSO NA FATURA PIS R\$ 0,93 E COFINS R\$ 4,24 CONFORME RES. ANEEL 130/2005 A PARTIR DE 01/07/2017 - PIS/PASEP 1,30% e COFINS 5,96%.
REAJUSTE TARIFARIO - EFEITO MEDIO 5,85% A PARTIR DE 24/06 RES. ANEEL 2256/2017
A qualquer tempo pode ser solicitado o cancelamento de valores nao relacionados a prestacao do servico de energia eletrica, como convenios e doacoes.
DEBITOS: 06/2017 R\$ 64,75
Periodos Band Tarif: Verde: 16/06-30/06 Amarela: 01/07-17/07

Fonte: Concessionária de energia.

As concessionárias deverão avisar a todos os consumidores da respectiva área de concessão sobre as interrupções programadas, informando a data da interrupção, horário de início e término, de acordo com a resolução N° 24, de 27 de janeiro de 2000, da ANEEL. Deve seguir as seguintes classificações.

- Unidades consumidoras atendidas em tensão superior a 1 kV e inferior a 230 kV, com demanda contratada igual ou superior a 500 kW, o aviso é feito por meio de documento escrito e personalizado, com antecedência mínima de cinco dias úteis em relação à data da interrupção;
- Unidades consumidoras atendidas em tensão inferior a 69 kV e que prestem serviço essencial, o aviso deve ser feito por meio de documento escrito e

personalizado, com antecedência mínima de cinco dias úteis em relação à data da interrupção;

- Consumidores atendidos em tensão igual ou inferior a 1 kV e que exerçam atividade comercial ou industrial, o aviso e por meio de documento escrito e personalizado, com três dias úteis de antecedência em relação à data da interrupção.

Para determinar as metas a ANEEL recolheu os dados de 4135 conjuntos de 56 concessionárias de energia em todo o país. Foram usadas cinco variáveis (apresentadas no quadro 05 para revisar os critérios de agrupamentos dos pontos consumidores, deixando as concessionárias de energia elétrica com condições de disponibilizar as informações sem ter complicações.

Quadro 05: Metas ANEEL

Metas aplicadas pela ANEEL
Extensão da rede aérea primária;
Potência instalada;
Número de unidades consumidoras;
Consumo médio mensal;
Área de atendimento.

Fonte: ANEEL, 2014.

Esses indicadores são revistos na Revisão Tarifária Periódica - RTP e vão se tornando cada vez mais rigorosos, a fim de melhorar a qualidade do serviço prestado ao consumidor. O indicador é previsto no Contrato da Concessão, sendo que o descumprimento do critério de eficiência com relação à qualidade do serviço prestado, por dois anos consecutivos durante o período de avaliação ou no ano de 2020, acarretará a extinção da concessão.

O objetivo de uma empresa distribuidora de energia elétrica é fornecer a energia ao cliente, dentro dos padrões de qualidade estabelecidos pela ANEEL. A qualidade, nesse caso, é representada pela continuidade do fornecimento e os níveis de tensão entregues aos clientes. A ANEEL tem a responsabilidade de regular, promover a melhoria do serviço prestado e cuidar de

forma indireta ou direta para que a continuidade de distribuição de energia elétrica seja entregue com qualidade ao consumidor final, seja ele em canteiro de obras, seja ele em residência, indústria, comércio, etc. (ANEEL, 2014).

Pensando nisso, a ANEEL emitiu em 9 de setembro de 2010 a Resolução Normativa N° 414 que define as diretrizes sobre até onde a concessionária/distribuidora de energia tem responsabilidades sobre a energia entregue ao consumidor. A mesma resolução trata também dos direitos e responsabilidades que o consumidor tem sobre a energia fornecida a ele.

Os órgãos de competência de defesa do consumidor, tem contribuído com as concessionárias de serviço público de energia elétrica, estabelecendo regras, exigências, obrigações, padronizando os procedimentos, indicadores e assegurando a qualidade e continuidade do serviço prestados aos consumidores. As concessionárias, receberam limites diferenciados pela legislação, que se baseou nos históricos obtidos pelos índices, com a intenção de manter ou aumentar a qualidade do fornecimento da energia elétrica. (DIAS, 2002).

É de responsabilidade das empresas de energia, assumir todas as regras obrigatórias no controle de qualidade do fornecimento de energia elétrica. A supervisão, a avaliação e o controle é feito por etapas contínuas, usando como parâmetros os indicadores e os padrões individuais e coletivos. A violação desses padrões em qualquer ponto de conexão está sujeita a multa. A multa é gerada pela concessionária e enviada aos consumidores (GOMES, 2010).

As empresas de energia elétrica utilizam os principais indicadores definidos no contrato de concessão assinado com a ANEEL, que define padrões que se não atingidos, penalizarão a concessionária com pesadas multas (COPEL, 2010).

Os indicadores são alimentados com as falhas ocorridas na rede, com a quantidade de consumidores alcançados, com o tempo de interrupção e a quantidades de interrupção ocorridas nos pontos consumidores. O Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), mede através da disponibilidade, conformidade, restaurabilidade e flexibilidade a qualidade do fornecimento de energia:

As principais características destes quatro pontos são:

- Disponibilidade: tem a capacidade de fornecedor a energia na quantidade que os consumidores desejam, sem haver interrupção, e considerado apenas como aspecto relativo a continuidade.

- Conformidade: e a capacidade do sistema elétrico de fornecer energia com a tensão adequada e sem frequência de distorções e flutuações harmônicas aos consumidores.
- Restauração: é a capacidade associada ao sistema elétrico, quando for interrompido seu fornecimento, para restaurar rapidamente o fornecimento de energia elétrica, diminuindo assim o tempo de interrupção.
- Flexibilidade: e a capacidade que o sistema elétrico tem em assimilar mudanças em sua estrutura ou configuração (GOMES, 2010).

Para a supervisão da qualidade, contempla-se os enfoques sobre a continuidade do fornecimento, a qualidade do atendimento comercial, ou seja, aspectos e relacionamento do consumidor com o comercial da empresa. O objetivo principal das empresas distribuidoras de energia elétrica é fornecer energia adequada, sem oscilações e com continuidade neste fornecimento. O gerenciamento estratégico da empresa prevê a manutenção preventiva de suas redes e dos equipamentos e expansão de suas redes elétricas para suprir as necessidades de novas demandas, atendendo assim as necessidades de seu mercado (MOURA, 2002).

3 COMPROMETIMENTO AMBIENTAL DAS REDES: INTERFERÊNCIA NO MEIO AMBIENTAL E PRESERVAÇÃO DA ARBORIZAÇÃO

3.1 *Análise do uso da RDC e RDA em meios arborizados*

No final do século XIX, a sociedade passou a perceber a limitação dos recursos naturais disponíveis, o quanto o mau uso destes tem afetado o ecossistema e consequentemente, a sua importância para a mesma. Dessa forma, sendo as árvores o principal recurso natural a sofrer o impacto da implantação das redes de distribuição aérea, conciliar a existência de ambos se tornou um dilema. Uma das soluções já comprovadas para uma grande parte dos problemas atuais é o cultivo de árvores no meio urbano como modelo de importância para uso das árvores com fins econômicos e ambientais. Pode-se ressaltar ainda que esta ação ajuda a minimizar o calor de cidades com clima quente e a arborização urbana promove diversos benefícios, além de amenizar as temperaturas, como a redução da poluição sonora, dos poluentes do ar e a criação de um ambiente agradável para os moradores (VELASCO, 2013).

Sabendo da importância da arborização no meio urbano, será verificado neste tópico como a RDA e a RDC se portam neste aspecto.

A RDA faz uso de condutores nus, ou seja, sem qualquer tipo de proteção. Logo, requer mais cuidados para que não ocorram falhas no sistema, deve haver uma distância de 1 metro entre os condutores fase e 1m de distância entre os mesmos e objetos do meio. Sendo o primeiro espaçamento facilmente realizado pelas cruzetas (VELASCO, 2013).

Na Figura 6, é possível visualizar um pequeno trecho de RDA e notar o devido espaçamentos entre os condutores sendo prontamente realizado pelas cruzetas.

Figura 6 - Exemplo de trecho com RDA



Fonte: PRAZERES, 2016.

Há mais complicações para efetuar o espaçamento dos condutores secundários. Isso ocorre principalmente se a RDA estiver próxima das árvores. Nesse caso, será preciso realizar as podas das arborizações próximas. Devido ao grande espaço ocupado pelos condutores da RDA há o risco de curto-circuito, caso os galhos das árvores encostem neles. Visando maior proteção, as podas deste tipo de rede devem ser de grande porte e realizadas com regularidades (GUIA DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 2002).

A figura 7 mostra árvores que sofreram podas intensas remanescendo apenas a sua porção que se encontra na altura dos cabos de telecomunicações.

Figura 7 - Podas geradas pela RDA



Fonte: RIBEIRO, 2016.

Já a RDC conta com condutores protegidos. Desta forma, tanto o espaço demandado entre os próprios condutores da rede quanto o espaço entre estes e as árvores é menor (GUIA DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 2002).

A Figura 8 ilustra a poda mínima necessária a ser realizada em árvores próximas a RDC.

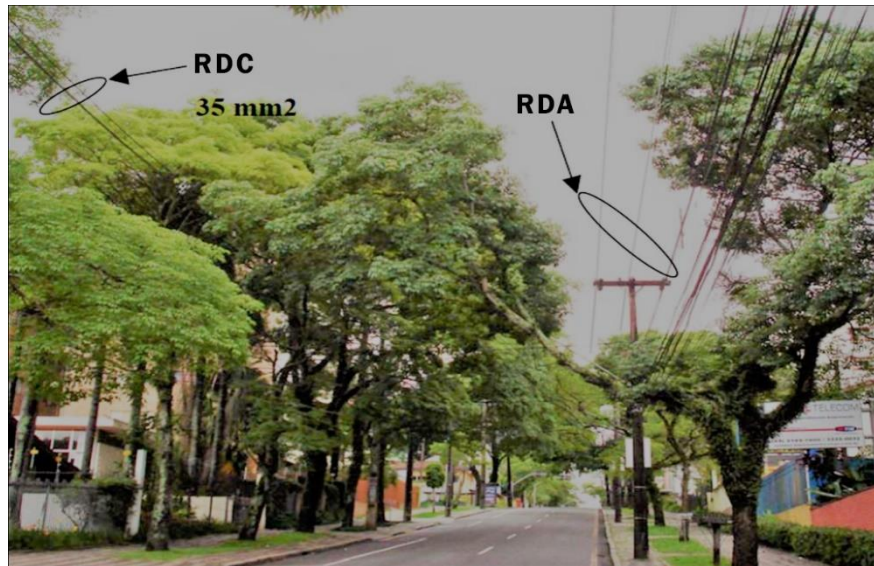
Figura 8 - RDC em meio à arborização



Fonte: COPEL, 2013.

Fazendo-se um comparativo lado a lado, a diferença de impacto sobre a vegetação arbórea é evidente (Figura 9).

Figura 9 - Comparação de danos causados em árvores pela RDC e RDA



Fonte: PRAZERES, 2016.

3.2 Restrições na utilização da RDC nas áreas próximas à orla marítima

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 15992 (2011), os seguintes componentes da RDC devem ser compostos por material polimérico: Cabo coberto, espaçador, separador, braço antibalanço e anel de amarração.

Dois fenômenos de degradação que usualmente ocorrem em polímeros são o trilhamento elétrico e a erosão. Sendo que o trilhamento elétrico se caracteriza por ser um mecanismo de degradação ocasionado por descargas elétricas próximas ou mesmo na própria superfície do material isolante resultando em trilhas visíveis no material polimérico. Com o agravamento dessas trilhas, é possível ainda que ocorra o processo de erosão, o qual é definido como a perda localizada e gradual de massa decorrida de descargas superficiais (NEXANS, 2016)

Os polímeros comumente utilizados na RDC, possuem como propriedade física o seu alto valor de resistividade superficial (o que limita as correntes superficiais responsáveis pelo trilhamento), porém alguns fatores podem reduzir essa importante propriedade. Contaminantes como, maresia, fuligem, fumaça, poeira, sais e outros depósitos, na presença

de umidade, formam um eletrólito e criam condições para fluir correntes entre pontos de diferentes potenciais elétricos na superfície do material. Estas correntes superficiais circulando continuamente através de um filme condutor, gerado pela umidade e poluição, podem causar evaporação não uniforme, formando as chamadas bandas secas e úmidas. Conseqüentemente, o campo elétrico torna-se não homogêneo, podendo provocar a ocorrência de descargas superficiais que carbonizam o material e iniciam a formação de trilhas elétricas. (SILVA, 2014)

Em orlas marítimas, em função da maresia, há a presença tanto de sais como de umidade. Propiciando o fenômeno de trilhas elétricas, desgastando o condutor. Ciente disso, a COPEL adicionou em sua Norma de Projetos de Redes de Distribuição Compacta Protegida (NTC) 841100(2014) uma nota que estabelece:

Evitar a aplicação de cabos de alumínio coberto com XLPE em áreas com acentuada presença de substâncias corrosivas e poluidoras (ambiente agressivo por substâncias corrosivas e poluidoras) e, em regiões litorâneas sujeitas a maresia (ambiente agressivo por salinidade marítima) compreendida entre 0 e 800 m da orla marítima.

A EDP Energias do Brasil que é controlada pela EDP - Energias de Portugal, uma das maiores operadoras europeias no setor energético, *holding* que, entre outros locais, realiza a distribuição de energia no litoral norte de São Paulo, estabelece que a restrição de uso dos cabos cobertos nos municípios litorâneos está limitada à uma distância de 300 metros da orla marítima. (EDP, 2016)

Desta forma, pode-se verificar que apesar de variar a distância aceitável entre a RDC e a orla marítima entre concessionárias, a RDC não é a rede de distribuição mais indicada nesta situação. Sendo assim, a RDA o tipo de instalação recomendado para a implantação em trechos próximos a orla marítima.

3.3 Aspectos de segurança entre as duas redes

A rede de distribuição compacta protegida é indicada em locais onde há necessidade de melhores índices de confiabilidade e segurança das instalações elétricas, maior

compactação das redes ou uma melhor convivência com a arborização. De acordo com a NTC 841100/2014 a RDC é indicada nos seguintes locais:

- a) Áreas de congestionamento de circuitos (saída de subestação);
- b) Áreas onde exige-se um maior índice de confiabilidade devido as características dos consumidores especiais;
- c) Condomínios e loteamentos fechados, quando houver exigência de áreas fechadas, considerando os aspectos de segurança e confiabilidade;
- d) Em locais com arborização;
- e) Em áreas de difícil convívio da rede convencional com as edificações;
- f) Em locais onde são constantes os desligamentos causados por contatos de objetos estranhos à rede;
- g) Em áreas com frequentes ações de vandalismo.

Além dos benefícios para a arborização já mencionados, a utilização da RDC traz também muito mais segurança para o sistema pois é menos susceptível a agentes externos que causam interrupções, além do que, no caso de ocorrer queda de postes o sistema tem 3 vezes mais chances de continuar fornecendo energia elétrica normalmente, devido a sua maior resistência a ruptura em relação ao condutor nu (VELASCO, 2013).

Outro fator bastante agravante quanto a segurança na RDA é que devido ao fato de não possuir condutores protegidos, em uma situação de curto, pode energizar objetos próximos a localização da falha, incluindo árvores. O que pode ocasionar graves acidentes à população. Como por exemplo, uma criança decidir subir na árvore para buscar algum brinquedo que se encontra preso na mesma e acabar levando um choque elétrico devido a tal energização (SILVA, 2006).

Maiores cuidados também devem ser tomados na RDA tratando-se de manutenção. Pois os equipamentos utilizados para tal fim costumam ser de natureza metálica, facilitando a ocorrência de um choque elétrico no operador. Já a RDC, por possuir condutores protegidos, mantém a corrente no interior do mesmo sendo necessário apenas o cuidado com o campo elétrico ao seu redor, em virtude de ser apenas protegida e não isolada (SILVA, 2006).

3.4 Contaminação artificial de espaçadores e isoladores poliméricos

Entre os equipamentos e acessórios das redes aéreas com cabos cobertos estão os espaçadores poliméricos e isoladores tipo pino e bastão poliméricos. Os espaçadores isoladores tipo pino são normalmente confeccionados em polietileno de alta densidade (HDPE), enquanto o isolador bastão polimérico é constituído por três componentes principais – núcleo de resina com fibra de vidro, terminais metálicos (aço forjado, ferro fundido ou alumínio) e revestimento em silicone (LINERO, 2003).

Algumas vantagens da utilização dos isoladores poliméricos são as dimensões compactas, resultando em materiais mais leves do que os convencionais, reduzindo o custo das estruturas, do transporte e armazenamento, da mão-de-obra de instalação, entre outros; maior resistência ao vandalismo e alta resistência mecânica a esforços de torção, flexão e tração.

A figura 10 ilustra os materiais usados para fixação do cabo ao espaçador ou isolador.

Figura 10 – Materiais usados na fixação do cabo ao espaçador ou isolador



Fonte: LINERO, 2003.

Os isoladores são construídos de forma a possuir duas principais funções, sendo que uma é de caráter mecânico e outra, elétrica. Sua função mecânica é a capacidade de suportar os esforços produzidos pelos condutores e no âmbito elétrico, a de isolar os condutores que

estão submetidos a uma diferença de potencial elétrico em relação à estrutura de suporte ou em relação a outro condutor fase. Destas duas funções, a de âmbito elétrico é a de principal interesse uma vez que é a função com maior complexidade de ser atingida e como será explicado a seguir, tem impacto direto na resistividade mecânica do material.

Para a efetivação da função de isolamento elétrico, os materiais poliméricos utilizados em redes aéreas com cabos cobertos devem possuir duas importantes características:

- (a) Hidrofobicidade
- (b) Resistência ao trilhamento elétrico e erosão.

A hidrofobicidade define-se como a capacidade de repelir água evitando que se forme um filme contínuo em sua superfície. Tal característica contribui para a supressão da corrente de fuga superficial e aumento da suportabilidade frente a descargas disruptivas, melhorando o desempenho dos isoladores em condições de poluição e umidade. O propósito do revestimento em silicone é manter a hidrofobicidade do isolador por maiores períodos de tempo quando submetidos a condições agressivas por conta do seu baixo peso molecular que gera a migração das moléculas de silicone para a superfície do isolador.

O trilhamento elétrico pode ser definido como a formação de um caminho condutor permanente, formado normalmente por compostos de carbono, através da superfície do isolante, resultado da degradação devido à ação das descargas superficiais. Quando este fenômeno ocorre de forma localizada, ocorre a erosão. (SILVA, 2014).

A erosão consiste na degradação progressiva do material pela ação de descargas elétricas. Tanto o trilhamento elétrico quanto a erosão ocorrem principalmente em pontos de contato com objetos aterrados, tais como galhos de árvores, ou em pontos de amarração do cabo com espaçador ou isolador. Contaminantes da atmosfera e umidade são fatores que aceleram estes processos. (LINERO, 2003).

Desta forma, é coerente afirmar que se um material sobre trilhas em sua superfície ou a perda de sua massa causada pela erosão, sua resistência mecânica acaba sendo comprometida.

Na Figura 11 é possível ver alguns problemas nos fixadores.

Figura 11 – Problemas de quebra e trilhamento nos fixadores



Fonte: LINERO, 2003.

4 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE RDC E RDA

Nesta etapa serão abordados os aspectos técnicos e o desempenho do padrão convencional de distribuição de energia elétrica em redes aérea de distribuição primária e fazendo uma comparação com a rede aérea de distribuição compacta.

O modelo convencional apresenta desvantagens em relação a alternativas mais modernas como a rede compacta.

A rede compacta é constituída de três condutores cobertos por uma camada de polietileno reticulado – XLPE (composto extrudado de polietileno termofixo), e é sustentado através do cabo mensageiro de aço fixado aos postes por meios de braços metálicos e espaçadores losangulares poliméricos instalados em intervalos de 7 a 10 metros ao longo do vão que por sua vez, exercem a função de compactação e separação elétrica dos cabos cobertos, que ficam dispostos em formato triangular. É importante saber que os cabos protegidos não são isolados eletricamente e sim apenas encapados por não terem seu campo elétrico confinado (COPEL, 2014).

Além desses materiais, são também usados isoladores de pino e de ancoragem, feitos em material polimérico, com o objetivo de promover o isolamento elétrico dos condutores da rede, em conjunto com os espaçadores, braços suportes (ferragens para a sustentação da rede) e alguns equipamentos de última geração, como para-raios de óxido de zinco para proteção contra descargas atmosféricas, chaves blindadas e isoladas a gás para seccionamento e manobra da rede e transformadores auto protegidos, com proteção interna contra curto-circuito (VELASCO, 2013).

4.1 *Projeto de redes*

A NTC 841100 da COPEL é a norma que estabelece os critérios básicos para a elaboração de Projetos de Linhas e Redes de Distribuição Compacta Protegida Trifásica aérea nas tensões 13,8 kV e 34,5 kV, composta basicamente de três condutores cobertos (XLPE), apoiados em espaçadores e sustentados por uma cordoalha de fios de aço zincado (podendo ser coberta), em configuração compacta, de forma a assegurar boas condições técnico-econômicas das instalações e da qualidade dos serviços de energia elétrica.

A NTC 841100 diz que ao se iniciar um projeto de Rede de Distribuição Compacta Protegida, deverão ser obtidos dados e informações necessários à sua elaboração, que basicamente são os seguintes:

a) Características do projeto: Consiste na determinação do tipo de projeto a ser desenvolvido a partir das causas de origem e/ou da finalidade de sua aplicação, da área a ser abrangida pelo projeto e do estado atual da rede, quando esta existir.

b) Planejamento básico: Os projetos deverão atender a um planejamento básico, que permita um desenvolvimento progressivo, dentro da expectativa de crescimento de cada localidade.

Em área onde haja a necessidade de implantação de redes novas, deverá ser efetuado o planejamento básico, através da análise das condições locais, observando-se o grau de urbanização e arborização das ruas, dimensões de lotes, tendências regionais e áreas com características semelhantes que possuem dados de carga e taxas de crescimento conhecidas.

Nas áreas que já possuem o serviço de energia elétrica, deverá ser feita uma análise do sistema elétrico disponível, elaborando-se o projeto em consonância com o planejamento existente.

Para se definir a aplicabilidade dos cabos cobertos nas redes aéreas deverá ser verificado se a área em estudo se enquadra nos casos indicados.

c) Planos e projetos existentes: Deverão ser verificados os projetos anteriormente elaborados e ainda não executados, abrangidos pela área em estudo, que servirá de subsídios ao projeto atual. Conforme o tipo e a magnitude do projeto, deverão ser também levados em consideração os planos diretores governamentais para a área.

d) Plantas cadastrais: Deverão ser obtidas plantas cadastrais da localidade ou área em estudo através de cópias de plantas existentes, confiáveis e atualizadas, ou através de novo levantamento topográfico ou aero fotogeométrico. Os desenhos deverão ser feitos de acordo com a NTC 841005 - Desenho de Redes de Distribuição.

e) Crescimento vegetativo: avaliação e aplicação do crescimento vegetativo no projeto deverá ser conforme os estabelecidos na NTC 841001 - Projeto de Redes de Distribuição Urbana.

f) Estimativa de demanda: Os critérios básicos para levantamento das cargas e estimativas das demandas, deverão ser conforme os constantes da NTC 841001 - Projeto de Redes de Distribuição Urbana.

Para a elaboração de um projeto são necessários conhecimentos em normas técnicas, materiais, aspectos de engenharia, etc. Pois é necessário fazer o dimensionamento de esforços

mecânicos dos postes e dimensionamento elétrico de bitolas, condutores, proteção para sobrecorrente, sobretensão, dentre outros.

4.2 Aspecto econômico: Levantamento De Custo - Custo/Km

A construção de rede aérea de distribuição compacta traz diversos benefícios à concessionária como diminuição nos índices de continuidade em decorrência da significativa melhoria da confiabilidade atribuída ao uso desta tecnologia e por outro lado um fator importante é a questão ambiental que vem recebendo uma atenção especial por partes das autoridades (SILVA, 2006).

Por ter um custo maior que a rede aérea convencional a rede compacta se restringe a locais densamente arborizados, redes com vários circuitos em ruas estreitas, condomínios fechados e ramais com altas taxas de falhas.

As concessionárias têm um interesse de eliminar o pagamento de multas imposto por ultrapassar as metas de continuidade e na redução de custos com a manutenção preventiva e corretiva o que se refere a corte e podas de arvores.

A concessionária de energia tem suas próprias estimativas de custo por km de rede aérea convencional e compacta que será apresentado em formas de tabelas. A tabela 1 mostra os valores para construção de trecho novo em RDA e a tabela 2 os valores para ampliação de trechos de RDA para RDC.

Os dados apresentados como exemplos foram fornecidos pela concessionária de energia, o período de avaliação foi o primeiro trimestre de 2017.

Tabela 1: Custo médio para a implantação de rede aérea convencional

CONTRUÇÃO DE TRECHO NOVO DE RDA				
CABO	KV	MATERIAL R\$ MIL	OUTRAS DESPESAS R\$ MIL	CUSTO/KM R\$ MIL
02 AWG	13,8	26,46	24,73	51,19
336,4 MCM	13,8	64,61	37,09	101,71

Fonte: Concessionária de energia.

Tabela 2: Custo médio para a ampliação em rede aérea compacta

AMPLIAÇÃO DE TRECHO EM RDC				
CABO	KV	MATERIAL R\$ MIL	OUTRAS DESPESAS R\$ MIL	CUSTO/KM R\$ MIL
35 XLPE	13,8	43,90	57,08	100,99
185 XLPE	13,8	87,61	79,83	167,44

Fonte: Concessionária de energia.

Podemos ver que o custo com material na RDA para cabo 02 AWG é 51,69% e para cabo 336,4 MCM é 63.5% do correspondente ao custo total e na RDC gira em torno de 43.5% para o cabo 35 XLPE e 52.3% para o cabo 185 XPLE. O que ocasiona um maior custo de material para a ampliação em cabo 185 XLPE é o fato de ser um cabo mais resistente e pesado ele exerce maior tração, necessitando de estruturas mais reforçadas para sua sustentação.

Com estes dados apresentados acima pode-se fazer o cálculo de quanto sairia o custo para a instalação da rede aérea compacta num local determinado. Vamos analisar um setor que possui aproximadamente 8km de redes aéreas de distribuição convencional, sendo assim o custo da substituição está apresentado na tabela 3

Tabela 3: Cálculo do custo para instalar rede área

TIPO DE REDE	CUSTO/KM R\$ MIL	TOTAL R\$ MIL
RDA 02 AWG	51,19	409,56
RDC 35 XLPE	100,99	807,96

Fonte: Concessionária de energia

Podemos observar que a diferença do investimento inicial é de R\$ 398.394,4 para o referido setor. Se a economia anualmente de podas de arvores é de aproximadamente R\$ 18.000,00 e de manutenção cerca de R\$ 35.000,00, a substituição seria paga em menos de 8 anos de utilização, o que torna esta substituição vantajosa a longo prazo, visto a relação custo x benefício.

A rede compacta apresenta um investimento superior de aplicação em relação às redes aéreas convencionais, o que se deve levar em conta são as inúmeras vantagens das redes de distribuição aéreas compacta.

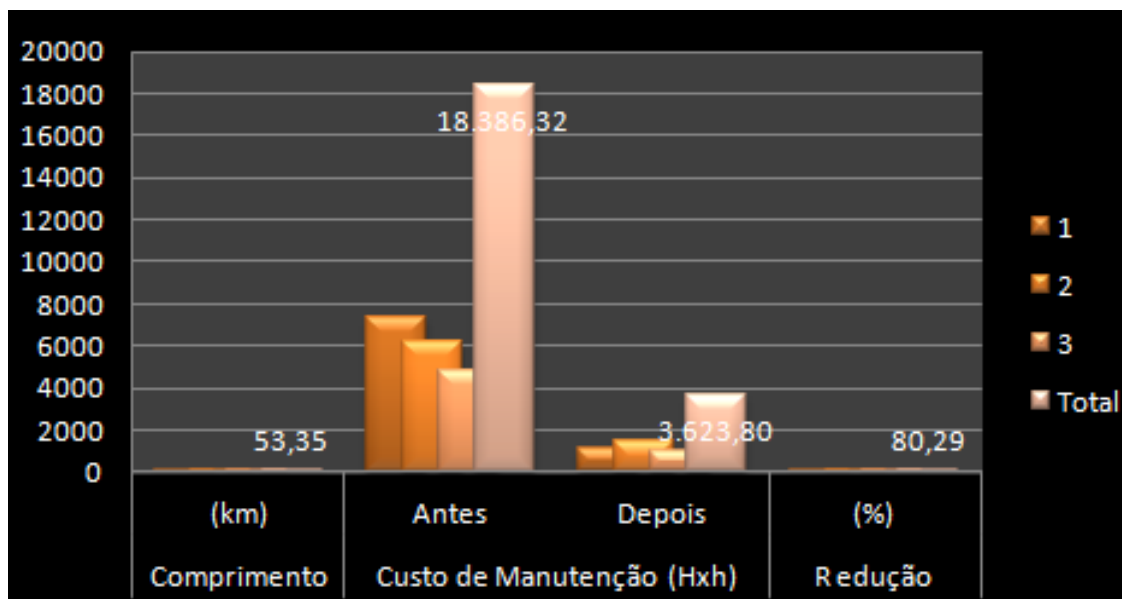
Uma experiência realizada pela concessionária de energia em uma cidade mostra uma Análise Econômica de Aplicação das Redes Compactas, e os diversos atrativos desta tecnologia. Foi realizada pela concessionária de energia uma obra de substituição de 50km de rede de distribuição aérea convencional por redes de distribuição aéreas compactas. Os dados estão apresentados na tabela 4.

Tabela 4: Redução nos Custos de Manutenção

Alimentador	Comprimento (km)	Custo de Manutenção (Hxh)		Redução (%)
		Antes	Depois	
1	12,77	7.324,36	1.106,34	84,90
2	18,01	6.211,31	1.504,98	75,77
3	22,57	4.850,65	1.012,48	79,13
Total	53,35	18.386,32	3.623,80	80,29

Fonte: Concessionária de energia – Dados referentes a um ano.

Gráfico 01: Redução nos Custos de Manutenção



Fonte: Concessionária de energia.

Com a utilização de redes compactas o custo da manutenção reduziu como é mostrado na tabela acima, onde a concessionária obteve uma redução de 80,29% nos custos totais de manutenção, o que representou uma economia de R\$ 14.762,52 em um período considerado.

Com os dados verifica-se que o retorno do investimento ocorre em um período de tempo bastante atraente devido à redução significativa nos custos de manutenção, que foram da ordem de 80%, redução nos custos de interrupção de fornecimento, redução nos custos de podas, melhorias na imagem da empresa e ainda na redução de outros custos indiretos que não foram analisados.

4.3 Aspecto técnico: Índices de Qualidade e Comparativo DEC e FEC

Para manter a qualidade de prestação de serviço, a ANEEL exige das concessionárias um padrão de continuidade, mantendo o bom funcionamento, e para isso impões limites para os indicadores coletivos como o DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora), da mesma forma como estão definidos no Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição - PRODIST. (VELASCO, 2013).

A qualidade dos serviços prestados compreende a avaliação das interrupções no fornecimento de energia elétrica. Ressalta-se que, similarmente a outros indicadores no mundo, os indicadores são apurados para as interrupções maiores que 3 minutos, sendo admitidos alguns expurgos na sua apuração. As informações referentes aos indicadores de continuidade estão disponíveis na fatura de energia elétrica. Informações adicionais devem ser obtidas com a distribuidora. (SILVA, 2006).

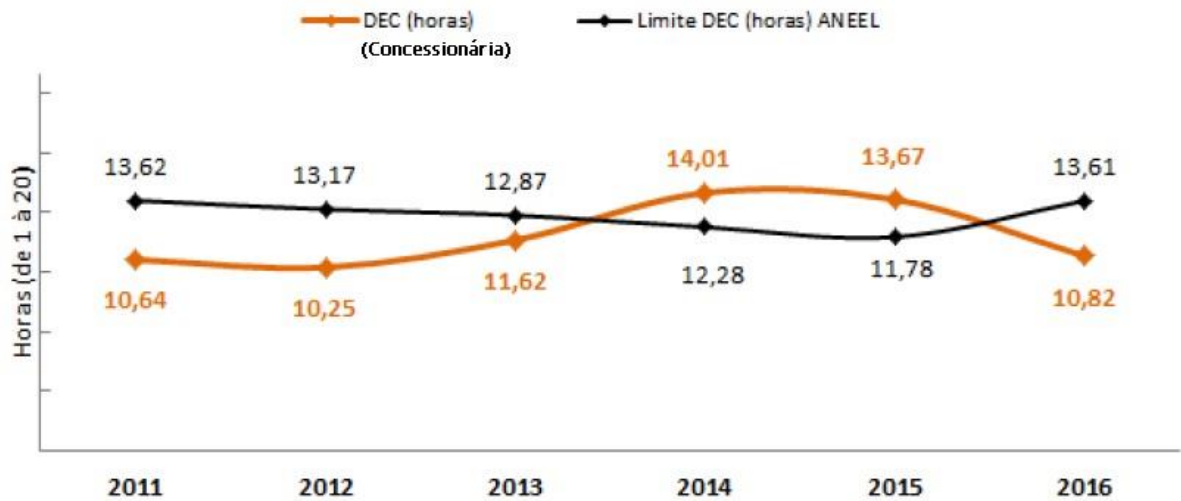
A continuidade do fornecimento é avaliada pela ANEEL através de subdivisões das distribuidoras, denominadas Conjuntos Elétricos. Existem limites para indicadores associados a cada conjunto. Ressalta-se que o conjunto elétrico pode ter abrangência variada. Conjuntos grandes podem abranger mais de um município, ao mesmo tempo em que alguns municípios podem possuir mais de um conjunto. (SILVA, 2006).

Com base no DEC e FEC, anualmente é publicado o Indicador de Desempenho Global de Continuidade, que visa comparar o desempenho de uma distribuidora em relação às demais empresas do país. O indicador permite avaliar o nível da continuidade da distribuidora (valores apurados de duração e frequência de interrupções) em relação aos limites estabelecidos para a sua área de concessão (limites determinados pelas resoluções autorizativas da ANEEL) (VELASCO, 2013).

A concessionária de energia vem aumentando gradativamente a utilização de RDC, com isso o resultado dos indicadores DEC e FEC da mesma apresentou melhoria na

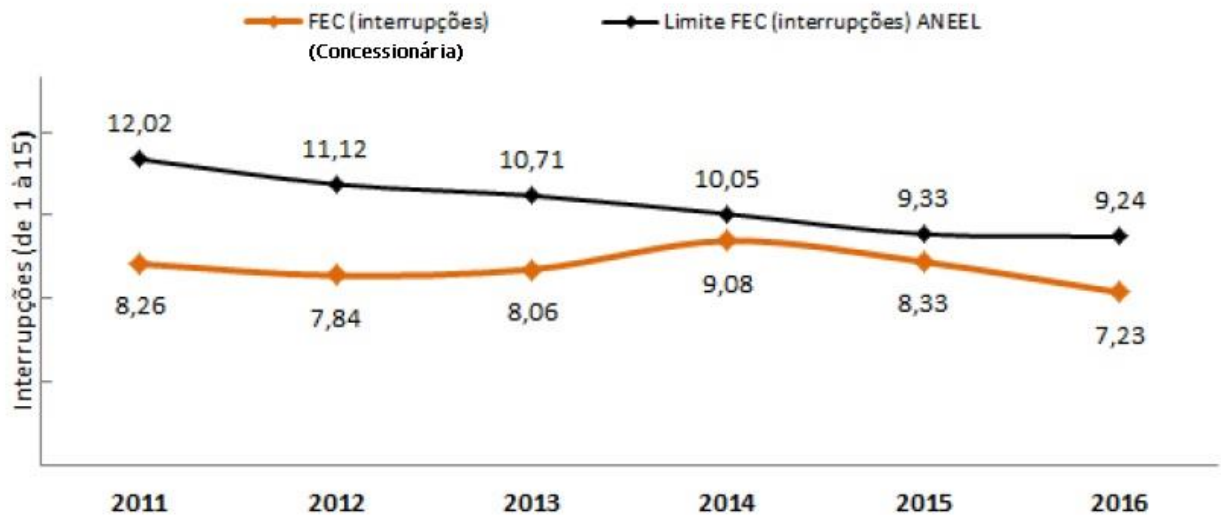
quantidade e na duração das interrupções para o ano de 2016 em comparação com o ano anterior, resultado do incremento de manutenções periódicas, inspeções preventivas, obras de desempenho e expansão, apresentados nos gráficos 02 e 03.

Gráfico 02: Evolução DEC (horas)



Fonte: Concessionária de energia.

Gráfico 03: Evolução FEC (interrupções)



Fonte: Concessionária de energia.

4.4 Estudo comparativo entre dois alimentadores

O estudo apresentado nesse trabalho, está relacionado com o trabalho de conclusão de curso da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (departamento acadêmico de eletrotécnica curso de Engenharia Industrial Eletrotécnica) pelos acadêmicos Fabrício Salmazo, Leomar Suchevecz e Márcio Tonetti com o tema “Estudo comparativo técnico-econômico entre redes de distribuição convencional e compacta protegida estudo de caso: alimentadores urbanos da superintendência de distribuição leste de uma concessionária de energia” em 2007.

Foram estudados para o comparativo, os alimentadores AL 1 e AL, oriundos da mesma subestação, onde o primeiro apresenta características predominantes da RDA e o segundo apresenta característica mista, ou seja, possui trechos com características da RDA e trechos com características da RDC (SALMAZO; SUCHEVICZ; TONETTI, 2007).

- **ALIMENTADOR AL 1**

Alimentador composto de 12,7 km de rede de distribuição convencional (RDA) e 3,1 km de rede compacta protegida (RDC), sendo está no equivalente de 24% da sua totalidade, atendendo 4092 consumidores através de 85 transformadores abaixadores de tensão, 13,8 kV-220/127 V.

- **ALIMENTADOR AL 2**

Alimentador composto de 9,7 km de rede de distribuição convencional (RDA), atendendo 4785 consumidores através de 99 transformadores abaixadores de tensão, 13,8 kV-220/127 V.

Através dos índices de continuidade pode-se conhecer a performance de cada alimentador. Os dados são coletados considerando ocorrências na média e baixa tensão, não existe uma separação destes dados para o nível de causas e componentes (SALMAZO; SUCHEVICZ; TONETTI, 2007).

A tabela 5 mostra os dados obtidos do DEC e FEC dos alimentadores AL 1 e AL 2 por ano.

Tabela 5 - Índices DEC e FEC dos alimentadores AL 1 e AL 2

ALIMENTADOR	ANO	Cons.	km	DEC	FEC
AL 1	2001	3.542	6,7	0,44	0,93
AL 2		4.117	8,6	2,38	1,08
AL 1	2002	3.955	12,3	0,38	0,18
AL 2		4.290	8,9	0,84	0,67
AL 1	2003	3.976	12,3	0,34	0,23
AL 2		4.317	8,9	0,25	0,18
AL 1	2004	4.038	12,5	1,08	2,32
AL 2		4.527	9,3	1,32	1,53
AL 1	2005	4.060	12,5	1,12	1,20
AL 2		4.645	9,4	2,32	3,50
AL 1	2006	4.066	12,7	0,21	0,12
AL 2		4.772	9,7	2,70	4,67

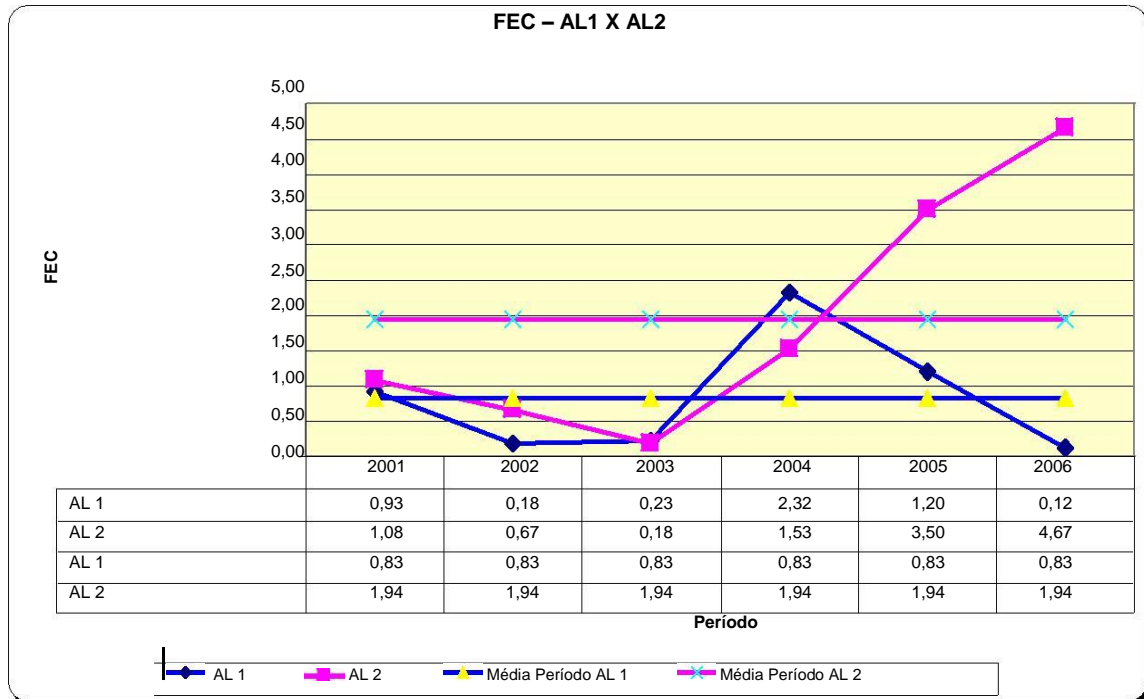
Fonte: Concessionária de energia.

Podemos perceber que o alimentador AL 1 obteve uma grande ampliação de sua extensão entre 2001 e 2002, mantendo-se assim até o ano de 2006, com um grande crescimento anual. Destacando com sua ampliação inicial, o número de consumidores também aumentou no período de 2001 a 2002, mantendo a partir deste ponto um pequeno crescimento anual até 2006 (SALMAZO; SUCHEVICZ; TONETTI, 2007).

Por outro lado, o alimentador AL 2 obteve um acréscimo de aproximadamente 1,1 km em sua extensão, no período de 2001 a 2006. Porém, nota-se que o número de consumidores atendidos por este alimentador tem evoluído sensivelmente com o passar dos anos (SALMAZO; SUCHEVICZ; TONETTI, 2007).

O gráfico 04 exhibe a variação do índice FEC durante os anos para os alimentadores AL 1 e AL 2.

Gráfico 04 – Índice FEC entre os alimentadores AL 1 e AL2



Fonte: Concessionária de energia.

O alimentador AL 1 apresenta um desempenho superior, com menos de 50% das interrupções do alimentador AL 2, atribuído da inclusão de 3,1 km de RDC em sua extensão, diferentemente do alimentador AL 2, que possui 100% de características da RDA, estando exposto a um maior número de desligamentos oriundos de condições climáticas adversas. É importante salientar que situações de abalroamentos ocasionam maior número de desligamentos em RDA do que em RDC, pois no momento em que veículos chocam-se com postes toda a estrutura balança (SALMAZO; SUCHEVICZ; TONETTI, 2007).

Em contrapartida, na RDC este fato ocorre com menor frequência, uma vez que os cabos cobertos são fixados nos postes através de estruturas que evitam o contato entre o poste e o cabo. Assim quando um isolador da RDC sofre dano dificilmente ocorre o curto-circuito fase-terra ocasionando o desligamento da rede de distribuição (SALMAZO; SUCHEVICZ; TONETTI, 2007).

Tal situação torna possível a verificação do problema e a atuação das equipes de manutenção. Este tipo de problema quando ocorre em uma RDA provavelmente causaria a

atuação do desligamento do circuito através do sistema de proteção, desde que este esteja corretamente dimensionado, em função do curto-circuito fase-terra causado pelo toque do cabo nu com o poste (SALMAZO; SUCHEVICZ; TONETTI, 2007).

Por outro lado, o sistema de proteção também deve atuar para curto-circuito do tipo fase-fase, ocorrido pelo contato entre os cabos da MT em uma RDA. Em uma RDC este tipo de problema também é minimizado graças à proteção de XLPE que os cabos possuem (SALMAZO; SUCHEVICZ; TONETTI, 2007).

Neste caso a agilidade das equipes de manutenção passa a ser de fundamental importância, pois seu tempo de atuação constitui o índice DEC. Evidencia-se assim o motivo pelo qual estudamos neste trabalho o índice FEC e descartamos o DEC, pois o último não depende diretamente das características da rede de distribuição, mas sim do treinamento especializado, experiência profissional dos envolvidos e de material específico em boas condições de manuseio (SALMAZO; SUCHEVICZ; TONETTI, 2007).

Inclusive, vale ressaltar que no ano de 2004 ocorreu a queima de um transformador no trecho de RDA do alimentador AL 1, e desta forma elevou os custos de manutenção deste alimentador. O custo com materiais utilizados em manutenções corretivas e preventivas diminuiu consideravelmente para a RDC, uma vez que esta apresenta pouca ocorrência de falha (SALMAZO; SUCHEVICZ; TONETTI, 2007).

5 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA RDC EM RELAÇÃO A RDA

A RDC vem sendo empregada no Brasil devido às vantagens apresentadas por este tipo de rede. As vantagens não são apenas econômicas, mas também sociais, em razão da melhoria da imagem da empresa diante das entidades ambientais, municipais e dos próprios consumidores que são melhor atendidos

Possui uma menor interferência no meio ambiente, diminuindo assim a necessidade de podas frequentes, permitindo um espaço maior para a arborização e melhorando o aspecto estético das ruas (PINHEIRO, 2008).

As principais vantagens são:

- Maior confiabilidade no fornecimento de energia elétrica;
- Menor agressão à fauna e à flora;
- Menor faixa de servidão;
- Menor queda de tensão;
- Reduz índices de vandalismo;
- Menor exposição ao perigo;
- Manutenções menos frequentes;
- Menores custos de manutenção (serviços e equipamentos);
- Por ser uma rede compacta há a possibilidade da instalação de até quatro circuitos na mesma estrutura;

A RDC pelas suas características técnicas e econômicas possui muitas aplicações de utilização, como pode ser visto no quadro 6.

Quadro 06: aplicação de RDC

Locais de instalação de RDC- Aplicação
<p>Redes com mais de um circuito por estrutura; Alternativa as redes isoladas (alto custo); Tronco de alimentadores e derivações; Locais densamente arborizados; Ramais com alta taxa de falha; Condomínios fechados; Saída de subestações; Ruas estreitas.</p>

Fonte: Autoras

As redes compactas protegidas contaram com uma grande evolução na área dos materiais para existir, porém ainda enfrentam problemas neste sentido, com a exposição às condições climáticas adversas apresentam alguns problemas características, os quais comprometem desempenho e confiabilidade do sistema. Fazendo este tipo de rede apresentar algumas desvantagens, tais como:

- Multi estressamento;
- *Tracking* (trilhamento elétrico);
- Maior custo de implantação.

As redes convencionais de distribuição são as mais baratas de se instalar, mas por outro lado, tem como desvantagens um elevado custo de manutenção preventiva e corretiva, além de possuírem menor segurança, confiabilidade e serem facilmente danificadas por ações do meio ambiente e vandalismos. A principal vantagem dessa rede é ser a mais indicada para uso em regiões de orla marítima, pois como seus cabos não são cobertos com XLPE não sofrerão alta degradação devido a maresia, pois há maior presença de sais que são substâncias corrosivas e umidade (LINERO, 2003).

Ambas as redes possuem suas vantagens e desvantagens, mas de forma geral a RDC possui mais vantagens em relação a RDA, devido a sua confiabilidade, segurança, baixos custos de manutenção, etc., por isso é indicada para determinados lugares, como por exemplo onde há grande volume de arborização e meios urbanos. Entretanto, o importante na hora de instalar um tipo de rede de distribuição é levar em consideração o local, pois em regiões como rodovias onde não há população e pouca arborização não haverá um número significativo de

interrupções de agentes externos, sejam essas interferências naturais como galhos de árvores, objetos em contato com a rede ou vandalismos. Além do que, em regiões de orla marítima a RDA apresenta-se uma melhor alternativa.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesses últimos anos as redes de distribuição de energia estão sendo mais exigidas e passando por mudanças tecnológicas muito grandes. Regiões onde a demanda de carga é elevada, os custos de implantação não podem ser o fator mais importante. Deve-se levar em consideração a combinação entre custos de manutenção preventiva e corretiva a longo prazo, níveis de confiabilidade, taxa de falhas, espaço disponível, segurança, complexidade de equipamentos, local de utilização entre outros, que no final representarão um bom faturamento para a concessionária e uma boa qualidade de serviço para o consumidor.

Analisando os índices DEC e FEC, é possível perceber o baixo valor de seus indicadores em regiões com rede compacta, sendo estes bem inferiores aos dos atendidos por redes aéreas convencionais.

Ao longo do trabalho, mostramos que a utilização da RDC traz muitos benefícios ao sistema de distribuição de energia elétrica. Um dos benefícios principais proporcionados pela utilização da RDC é a preservação das árvores, pois como ficou demonstrado, as agressões ao meio ambiente são bem menores, uma vez que ocorre a diminuição do túnel de poda em função da não utilização da poda em V.

As vantagens da RDC não são apenas técnicas e econômicas, mas também sociais, em razão da melhoria da imagem da empresa diante das entidades ambientais, municipais e dos próprios consumidores que são melhor atendidos.

Deixa-se como sugestão para a futura continuidade deste trabalho pesquisas envolvendo o avanço das tecnologias utilizadas, bem como o sistema de interligação *Smart Grid*, novas tendências para redes inteligentes instaladas nos grandes centros e ampliação para áreas rurais.

7 REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA

ABRADEE, **Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica. Redes de Energia Elétrica.** Disponível em: <http://www.abradee.com.br/setor-eletrico/redes-de-energia-eletrica>. Acesso em: 02 abr. 2017.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **PRODIST Módulo 8: Qualidade da Energia Elétrica.** Brasil, 2016.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/>. Acesso em 16 abr. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15992: **Redes de distribuição aérea de energia elétrica com cabos cobertos fixados em espaçadores para tensões até 36,2 kV.** Rio de Janeiro, 2011.

AZEVEDO, F.H. **Otimização de Rede de Distribuição de Energia Elétrica Subterrânea Reticulada através de Algoritmos Genéticos.** 140 f. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.**

BRITO, M.L.S.; CASTRO, P.M. **Viabilidade Econômica de Redes de Distribuição Protegidas.** *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, São Paulo, v. 2, n. 1, 2007.

CIPOLI; J. A. **Engenharia de Distribuição.** Rio de Janeiro: Quality Mark. 1993.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. NTC 841100: **Projeto de Redes de Distribuição Compacta Protegida.** Paraná, 2014.

COPEL. **COPEL Vai Construir 900 km de Redes Protegidas. Bem Paraná.** 2013. Disponível em: <http://www.bemparana.com.br/noticia/258575/copel-vai-construir-900-km-de-redes-protegidas>. Acesso em: 08 mai. 2017.

COPEL. Utilização e Aplicação de Redes de Distribuição Subterrâneas – Guia para os municípios e empreendedores. Curitiba, 2010.

CORTES, L. COPEL Instala Rede Compacta para Diminuir Desligamentos e Podas Drásticas de Árvores. Paraná TV, Curitiba. Disponível em: <<http://g1.globo.com/pr/parana/videos/v/copel-instala-rede-compacta-para-diminuir-desligamentos-e-podas-drasticas-de-avores/2616206/>>. Acesso em: 08 mai. 2017.

DIAS, Evaldo Baldin. Avaliação de indicadores de continuidade e seu impacto no planejamento de sistemas de distribuição. 159f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

EDP. EDP Energias do Brasil. Disponível em: <http://www.edp.com.br>. Acesso em: 02 nov. 2016.

ELECTROATIVIDADE. Tipos e Formas de Distribuição de Energia. 2013. Disponível em: <http://electroatividade.blogspot.com.br/2013/02/tipos-e-formas-de-distribuicao-de.html>. Acesso em: 08 mai. 2016.

G1. Projeto Garante Revitalização da Rede Elétrica em Bairro de Uberaba. 2014. Disponível em: <http://g1.globo.com/minas-gerais/triangulo-mineiro/noticia/2014/02/projeto-garante-revitalizacao-da-rede-eletrica-em-bairro-de-uberaba.html>. Acesso em: 08 mai. 2017.

GOMES, H.J. Estudos de Viabilidades das Redes de Distribuição Secundárias Compactas no Sistema Elétrico da CELG D. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade de Goiás, Goiânia, 2010.

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. Novas Redes de Distribuição Elétrica Podem Evitar Destruição de Árvores. Disponível em: <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=010115040216>. Acesso em: 08 mai. 2017.

LINERO, Luiz Eduardo, et alli. **Fatores de influência na compatibilidade de cabos protegidos, isoladores e acessórios utilizados em redes aéreas compactas de distribuição de energia elétrica, sob condições de multiestressamento.** Curitiba: [s.n.], 2003.

NEXANS. **Comparação Entre os Materiais de Isolação.** Disponível em: http://www.nexans.com.br/SouthAmerica/2008/Comparing_pt_5.pdf. Acesso em: 02 fev. 2017.

OLESKOVICZ, Mário. **Qualidade da energia - fundamentos básicos.** São Paulo: Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2004. 129f. Apostila.

PLP BRASIL. **Espaçador Losangular com Garras -15 kV e 35 kV.** Disponível em: <http://www.plp.com.br/site/catalogos/item/565-espa%C3%A7ador-losangular-com-garras-15-kv-15-kv-e-35-kv>. Acesso em 17 ago. 2017.

PRAZERES, R. A. **Rede de Distribuição de Energia Elétrica e Subestações. Coleção: Curso Técnico em Eletrotécnica,** Curitiba: Base Editorial, 2008.

RIBEIRO, A. **EDP Vai Substituir 150 km de Fios no Alto Tietê em 2016. Portal News, 2016.** Disponível em: http://www.portalnews.com.br/_conteudo/2016/02/cidades/24726-edp-vai-substituir-150km-de-fios-na-regiao-em-2016.html . Acesso em: 08 mai. 2017.

RIBEIRO, A. L. **Benefícios da Rede de Distribuição Aérea Compacta 15kv. 2008. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica), UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO, 2008.** Disponível em: <http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/1592.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2017.

RODRIGUES, R. **Rede de Distribuição Protegida Compacta. 2013.** Disponível em: <http://www.crkautomacao.com.br/pt-br/artigos/rede-de-distribuicao-protegida-compacta>. Acesso em: 08 mai. 2016.

SALMAZO, SUCHEVICZ, TONETTI: MÁRCIO, FABRÍCIO, LEOMAR. **Universidade**

Federal Tecnológica do Paraná. TCC Estudo Comparativo técnico-econômico entre Redes de Distribuição convencional e compacta protegida estudo de caso: alimentadores urbanos da superintendência de distribuição leste da copel, 2007.

SILVA, R. F. Trilhamento Elétrico Sobre Materiais Poliméricos Pela Análise da Energia Absorvida Devido às Descargas Elétricas Superficiais. 2014. 126 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <http://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/35803>. Acesso em 10 fev. 2017.

STRUTTURALI. Redes Elétricas. Disponível em: <http://strutturali.eng.br/plus/modulos/conteudo/?tac=redes-eletricas> . Acesso em: 08 mai. 2016.

URBANETZ, C. In DICHOFF, N. Projeto Biomass Contribui com Arborização Urbana em Município Pantaneiro. EMBRAPA, 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/3205193/projeto-biomass-contribui-com-arborizacao-urbana-em-municipio-pantaneiro>. Acesso em: 10 fev. 2017.

VELASCO, G. Arborização Viária x Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica: Avaliação dos Custos, Estudo das Podas e Levantamento de Problemas Fitotécnicos. Piracicaba-SP,2003. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-10092003_152108/publico/giuliana.pdf. Acesso em: 23 abr. 2017.