



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE SOBRAL
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

MARCELO QUEIROZ LIRA

**PLANEJAMENTO DA REDE DE MÉDIA TENSÃO DA NOVA SUBESTAÇÃO NO DISTRITO
INDUSTRIAL DE SOBRAL**

SOBRAL - CE
2016

MARCELO QUEIROZ LIRA

**PLANEJAMENTO DA REDE DE MÉDIA TENSÃO DA NOVA SUBESTAÇÃO NO
DISTRITO INDUSTRIAL DE SOBRAL**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Graduado em Engenharia Elétrica. Áreas de concentração: Planejamento Energético, Análise de sistemas elétricos e Distribuição de energia elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Eber de Castro Diniz.
Coorientador: Prof. Dr. Rômulo Nunes de Carvalho Almeida.

SOBRAL - CE

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca do *Campus* de Sobral

-
- L745p Lira, Marcelo Queiroz.
Planejamento da rede de média tensão da nova subestação no distrito industrial de Sobral. /
Marcelo Queiroz Lira. – 2016.
102p. : il., enc. ; 30 cm.
- Monografia (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Sobral, Engenharia
Elétrica, Sobral, 2016.
- Orientação: Eber de Castro Diniz.
Co-orientação: Rômulo Nunes de Carvalho Almeida
1. Subestação de Energia Elétrica. 2. Engenharia Elétrica. I. Título.

MARCELO QUEIROZ LIRA

**PLANEJAMENTO DA REDE DE MÉDIA TENSÃO DA NOVA SUBESTAÇÃO NO
DISTRITO INDUSTRIAL DE SOBRAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do diploma de Graduação em
Engenharia Elétrica.

Aprovada em: 17/02/2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Eber de Castro Diniz (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Rômulo Nunes de Carvalho Almeida
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Engenheiro Aldeir Araújo Gonçalves
Companhia Energética do Ceará (COELCE)

A Deus.

A minha mãe, Fátima Rosália Queiroz Lira

A meus familiares, colegas de

faculdade, professores e amigos.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiro a Deus, senhor todo poderoso, na qual deposito minhas esperanças e a quem peço saúde, prosperidade, proteção e sabedoria para trilhar caminhos desconhecidos e tomar decisões corretas.

A minha família especialmente minha mãe, Fátima Rosália Queiroz Lira, pela educação, dedicação e carinho que me proporcionou ao longo destes anos permitindo que conquistasse esse sonho. Agradeço a todos da minha família, pois estes formam a base de meu caráter. Essa conquista não é somente minha, é nossa.

Ao Responsável da Unidade Operacional Norte da Coelce, Cláudio Bezerra por ter depositado em mim confiança em realizar este trabalho, disponibilizando tempo e recursos para sua finalização.

Ao Prof. Dr. Eber de Castro Diniz pela paciência, solicitude, liberdade de atuação, e orientação além da confiança em minhas habilidades. Sem esse apoio não seria possível obter êxito no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. D Rômulo Nunes e ao Engenheiro Aldenir Araújo Gonçalves que participam da banca examinadora pela dedicação de seu precioso tempo para correções, críticas construtivas e sugestões engrandecendo esta obra.

Aos amigos que fiz durante este período de graduação, Assis Vasconcelos, Jerfson Albuquerque, William Brito, Artur Melo, Paulo Robson, entre muitos outros que me ajudaram nos momentos difíceis durante esta jornada.

RESUMO

Este trabalho mostra a utilização do aplicativo Interplan v.1.36.2 conjuntamente com aplicativos PI Datalink e Google Earth para empregar conceitos de análise de sistemas elétricos de potência, usando os recursos para realizar estudos de planejamento de linhas de média tensão em sistemas de distribuição de energia. Inicialmente é mostrada a importância do estudo de planejamento em sistemas elétricos de potência que estão com crescimento constante, mostrando os conceitos básicos e os critérios de tensão, demanda e continuidade necessários para se obter um bom fornecimento de energia. Logo após ilustra-se as soluções possíveis para correções de defeitos no sistema de distribuição, definindo-se a melhor alternativa a partir da análise técnico-econômica. Posteriormente é analisada a inclusão de uma subestação no sistema de distribuição, definindo-se da melhor alternativa do terreno, a construção das linhas de alta tensão que irão alimentá-la e da distribuição das linhas de média tensão da nova subestação. Após a sua inserção é analisado as correções necessárias nas subestações próximas para se manter o bom fornecimento de energia. Por fim é realizada a análise da opção escolhida baseando-se nos critérios de planejamento e a análise de custo do investimento para construção da subestação, ilustrando a comparação do investimento total ao investimento das linhas de média tensão.

Palavras-chave: *Interplan* v1.36.2, critérios de planejamento, subestação, fluxo de carga, patamares de carga.

ABSTRACT

This project illustrates the utilization of the software Interplan v.1.36.2 in sync with softwares PI Datalink and Google Earth to employ concepts of electrical power system analysis, making use of those resources to perform studies about line planning of medium voltage on electrical distribution system. Initially is exposed the importance of research regarding power system planning that are in constant expansion, displaying basic concepts and voltage requirements, demands and requests to continue the reasonable energy supply. Further more, possible solutions are exhibited to correct deficiencies on the distribution system, defining the best option after a technical-economic analysis. Latterly, the possible inclusion of a new substation in the system of distribution is analyzed, defining the best terrain option, the construction of the high voltage lines which are going to feed and the distribution of medium voltage of the new substation, after its insertion all the corrections necessities are reviewed on nearby substations to maintain the energy supply. Therefore, it is performed an analysis of the chosen option based on the planning criteria and of the cost analysis of the investment to build the substation, picturing the comparison between the total investment and the medium voltage lines.

Keywords: *Interplan* v1.36.2, planning criteria, substation, charge flux, load levels.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL (2004-2014)	1
FIGURA 1.2 - LISTA DOS MÓDULOS DO PRODIST	2
FIGURA 1.3 - CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO CEARÁ (2004-2014)	3
FIGURA 1.4 –CRESCIMENTO ACUMULATIVO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO CEARÁ E NO BRASIL	3
FIGURA 1.5 - CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO CEARÁ	4
FIGURA 1.6 – REGIONAIS DO ESTADO DO CEARÁ	5
FIGURA 1.7 - DISTRITO INDUSTRIAL DE SOBRAL	7
FIGURA 2.1 - CONFIGURAÇÃO DO FLUXO DE POTÊNCIA	13
FIGURA 2.2 - CONFIGURAÇÃO DO DIAGNÓSTICO DE REDE.....	13
FIGURA 2.3 - MÓDULO DE CORREÇÃO DA DEMANDA.....	14
FIGURA 2.4 - MÓDULO DE CRESCIMENTO VEGATIVO DOS ALIMENTADORES.....	14
FIGURA 2.5 - VISUAL DO SOFTWARE INTERPLAN.....	15
FIGURA 3.1 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DAS SE’S EXISTENTES EM SOBRAL.....	16
FIGURA 3.2 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO ALIMENTADOR SBU01S1 NA REGIÃO URBANA	17
FIGURA 3.3 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO ALIMENTADOR SBU01S1	18
FIGURA 3.4 - PATAMARES DE CORRENTE DO ALIMENTADOR SBU01S1	18
FIGURA 3.5 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO ALIMENTADOR SBU01S2	19
FIGURA 3.6 - PATAMAR DE CORRENTE DO ALIMENTADOR SBU01S2	19
FIGURA 3.7 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO ALIMENTADOR SBU01S1 NA REGIÃO URBANA	20
FIGURA 3.8 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO ALIMENTADOR SBU01S3	20
FIGURA 3.9 - PATAMARES DE CORRENTE DO ALIMENTADOR SBU01S3	21
FIGURA 3.10 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO ALIMENTADOR SBU01S4	22
FIGURA 3.11 - PATAMARES DE CORRENTE DO ALIMENTADOR SBU01S4.....	22
FIGURA 3.12 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO ALIMENTADOR SBU01S5 NA REGIÃO URBANA	23
FIGURA 3.13 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO ALIMENTADOR SBU01S5	23
FIGURA 3.14 - PATAMARES DE CORRENTE DO ALIMENTADOR SBU01S5.....	24
FIGURA 3.15 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO ALIMENTADOR SBU01S6	25
FIGURA 3.16 - PATAMARES DE CORRENTE DO ALIMENTADOR SBU01S6.....	25
FIGURA 3.17 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO ALIMENTADOR SBU01S7 NA REGIÃO URBANA	26
FIGURA 3.18 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO ALIMENTADOR SBU01S7	26
FIGURA 3.19 - PATAMARES DE CORRENTE DO ALIMENTADOR SBU01S7.....	27
FIGURA 3.20 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO ALIMENTADOR SBU01S8 NA REGIÃO URBANA	28
FIGURA 3.21 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO ALIMENTADOR SBU01S8	28
FIGURA 3.22 - PATAMARES DE CORRENTE DO ALIMENTADOR SBU01S8.....	29

FIGURA 3.23 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO ALIMENTADOR SBU01S9 NA REGIÃO URBANA	29
FIGURA 3.24 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO ALIMENTADOR SBU01S9	30
FIGURA 3.25 - PATAMARES DE CORRENTE DO ALIMENTADOR SBU01S9.....	30
FIGURA 3.26 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO ALIMENTADOR SBQ01F3 NA REGIÃO URBANA	31
FIGURA 3.27 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO ALIMENTADOR SBQ01F3	32
FIGURA 3.28 - PATAMARES DE CORRENTE DO ALIMENTADOR SBQ01F3.....	32
FIGURA 3.29 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO ALIMENTADOR SBQ01F4	33
FIGURA 3.30 - PATAMARES DE CORRENTE DO ALIMENTADOR SBQ01F4.....	33
FIGURA 3.31 – MÓDULO DE VISUALIZAÇÃO DE FLUXO DE CARGA NA SE SBU	35
FIGURA 3.32 - CARREGAMENTO DOS TRANSFORMADORES DA SE SBU	37
FIGURA 3.33 - CARREGAMENTO DO TRANSFORMADOR DA SE SBQ	37
FIGURA 3.34 - AVT’S DE SOBRAL DE 2009 A 2015	38
FIGURA 4.1 - DISPOSIÇÃO DOS ALIMENTADORES DA SE SBU	41
FIGURA 4.2 - OPÇÕES DE TERRENO NA REGIÃO DO DISTRITO INDUSTRIAL	42
FIGURA 5.1 - LOCALIZAÇÃO DAS LDAT’S PRÓXIMAS A SE SDI	44
FIGURA 5.2 - INTERLIGAÇÃO DA SE SDI A PARTIR DAS LINHAS 02J2 E 02J8.....	46
FIGURA 5.3 - OBRA A SER REALIZADA PARA A INTERLIGAÇÃO DA LDAT 02J1 DA SE SBD.....	47
FIGURA 5.4 - INTERLIGAÇÃO DA SE SDI A PARTIR DAS LINHAS 02J1, 02J2 E 02J8.....	48
FIGURA 5.5 - DISPOSIÇÃO DOS ALIMENTADORES DA SE SBU APÓS O RIO ACARAÚ.....	49
FIGURA 5.6 - DISPOSIÇÃO DOS ALIMENTADORES SDI01I1 E SDI01I2.....	50
FIGURA 5.7 - PATAMARES DE CORRENTE DO ALIMENTADOR MSP01P3	51
FIGURA 5.8 - DISTRIBUIÇÃO DOS ALIMENTADORES SDI01I1 E SDI01I2	52
FIGURA 5.9 - DISTRIBUIÇÃO DO ALIMENTADOR SDI01I3	52
FIGURA 5.10 - PATAMARES DE CORRENTE DO ALIMENTADOR SQT01F3.....	53
FIGURA 5.11 - TRANSFERÊNCIA DO ALIMENTADOR SDI01I3 COM SQT01F3	54
FIGURA 5.12 - PATAMARES DE CORRENTE DO ALIMENTADOR SQT01F4.....	55
FIGURA 5.13 - TRANSFERÊNCIA DO ALIMENTADOR SDI01I3 COM SQT01F4	55
FIGURA 5.14 - DISTRIBUIÇÃO DO ALIMENTADOR SDI01I4	56
FIGURA 5.15 - DISTRIBUIÇÃO DO ALIMENTADOR SDI01I5 E SDI01I6.....	57
FIGURA 5.16 - DISTRIBUIÇÃO DO ALIMENTADOR SED SDI.....	58
FIGURA 5.17 - FLUXO DE CARGA DOS ALIMENTADORES DA SED SDI	59
FIGURA 5.18 - DISTRIBUIÇÃO DOS ALIMENTADORES DA SBU01S6, SBU01S7 E SBQ01F4.....	61
FIGURA 5.19 - DISTRIBUIÇÃO DOS ALIMENTADORES DA SBQ01F2 E SBQ01F3.....	61
FIGURA 5.20 - DIVISÃO DOS ALIMENTADORES DA SE SBU	64
FIGURA 5.21 - ALIMENTADOR SBU01S2 COM DEMARCAÇÃO DA REGIÃO SUBTERRÂNEA.....	65
FIGURA 5.22 - TRANSFERÊNCIA DE CARGA ENTRE OS ALIMENTADORES SBU01S6 E SBU01S4.....	66

FIGURA 5.23 - TRANSFERÊNCIA DE CARGA ENTRE OS ALIMENTADORES SBU01S5 E SBU01S4.....	66
FIGURA 5.24 - TRANSFERÊNCIA ENTRE OS ALIMENTADORES SBU01S2, SBU01S3 E SBU01S5.....	68
FIGURA 5.25 - SE SBU.....	68
FIGURA 5.26 - FLUXO DE CARGA DA SE SBU 2016 E 2020	71

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 - CRESCIMENTO VEGETATIVO DA SE SBD	34
TABELA 3.2 - DADOS DE CONTINUIDADE DE SERVIÇO DE 2015	35
TABELA 3.3 - DADOS DE CARGA DOS ALIMENTADORES DA SE SBU	36
TABELA 4.1 - RESUMO DAS ALTERNATIVAS AVALIADAS	43
TABELA 5.1 - DADOS DAS LDAT'S DA SUBESTAÇÃO SBD	45
TABELA 5.2 - CONSUMIDORES DOS ALIMENTADORES SBU01S1 E SBU01S3 APÓS O RIO ACARAÚ	49
TABELA 5.3 - DADOS DO TRECHO A SER TRANSFERIDO PARA MSP01P3	51
TABELA 5.4 - DADOS DO TRECHO A SER TRANSFERIDO PARA SQT01F3 E SQT01F4	53
TABELA 5.5 - CARREGAMENTO DO TRECHO DO ALIMENTADOR SBU01S7	56
TABELA 5.6 - CARREGAMENTO DOS ALIMENTADORES DA SED SDI	58
TABELA 5.7 - CARREGAMENTO DO TRANSFORMADOR DA SED SDI.....	59
TABELA 5.8 - CARREGAMENTO DOS ALIMENTADORES DA SED SBQ	62
TABELA 5.9 - CARREGAMENTO DO TRANSFORMADOR DA SED SBQ	62
TABELA 5.10 - CARREGAMENTO DOS TRANSFORMADORES DA SE SBU APÓS TRANSFERÊNCIA PARA SDI.....	63
TABELA 5.11 - PATAMARES DE CARGA DA SE SBU APÓS TRANSFERÊNCIA DE CARGA.....	64
TABELA 5.12 – DADOS DE TRANSFERÊNCIA DO ALIMENTADOR SBU01S2	67
TABELA 5.13 - DADOS DE TRANSFERÊNCIA ENTRE SBU01S2 E SBU01S3.....	67
TABELA 5.14 - DADOS DOS ALIMENTADORES DA SE SBU	69
TABELA 5.15 - DADOS DOS TRANSFORMADORES DA SE SBU	70
TABELA 5.16 - CUSTOS PLANEJADOS PARA CONSTRUÇÃO DA SE	72
TABELA 5.17 - CUSTOS PLANEJADOS PARA CONSTRUÇÃO DAS LINHAS DE MÉDIA TENSÃO	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ONS	Operador Nacional do Sistema
SIN	Sistema Interligado Nacional
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
COELCE	Companhia de Energética do Ceará
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
STDE	Secretária de Tecnologia e Desenvolvimento Econômico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Justificativa.....	6
1.2	Objetivo	8
1.3	Estrutura deste Trabalho.....	8
2	CONCEITOS BÁSICOS PARA O PLANEJAMENTO DE SUBESTAÇÕES	10
2.1	Análise dos critérios para soluções técnicas	10
2.1.1	<i>Análise dos critérios para Subestações de Distribuição.....</i>	<i>10</i>
2.1.2	<i>Análise dos critérios para LDAT's.....</i>	<i>11</i>
2.1.3	<i>Análise dos critérios para LDMT's.....</i>	<i>11</i>
2.2	Instruções para soluções técnicas	11
2.3	Introdução ao aplicativo Interplan	12
3	ESTUDO DE CASO.....	16
3.1	Panorama das subestações de Sobral.....	16
3.1.1	<i>Alimentadores da SE SBU.....</i>	<i>17</i>
3.1.1.1	<i>Alimentador SBU01S1</i>	<i>17</i>
3.1.1.2	<i>Alimentador SBU01S2</i>	<i>19</i>
3.1.1.3	<i>Alimentador SBU01S3</i>	<i>20</i>
3.1.1.4	<i>Alimentador SBU01S4</i>	<i>21</i>
3.1.1.5	<i>Alimentador SBU01S5</i>	<i>23</i>
3.1.1.6	<i>Alimentador SBU01S6</i>	<i>24</i>
3.1.1.7	<i>Alimentador SBU01S7</i>	<i>25</i>
3.1.1.8	<i>Alimentador SBU01S8</i>	<i>27</i>
3.1.1.9	<i>Alimentador SBU01S9</i>	<i>29</i>
3.1.2	<i>Alimentadores da SE SBQ.....</i>	<i>31</i>
3.1.2.1	<i>Alimentador SBQ01F3.....</i>	<i>31</i>
3.1.2.2	<i>Alimentador SBQ01F4.....</i>	<i>33</i>
3.2	Análise dos alimentadores das SE's de Sobral.....	34
4	ANÁLISE DEFINIÇÃO DO TERRENO DA NOVA SE.....	40
4.1	Estrutura da SE	40
4.2	Análise das alternativas de terreno para SE	40
4.3	Análise de custo e benefício dos terrenos.....	42
5	ESTUDO DE PLANEJAMENTO E CUSTOS DE REDE.....	44
5.1	Planejamento da rede de alta tensão.....	44
5.2	Planejamento da rede de média tensão.....	48
5.3	Distribuição dos alimentadores da SE SBU e SBQ após transferência de carga.....	60
5.3.1	<i>Distribuição dos alimentadores da SE SBQ.....</i>	<i>60</i>
5.3.2	<i>Distribuição dos alimentadores da SE SBU.....</i>	<i>63</i>
5.4	Custos de construção da rede da SE	71
6	CONCLUSÃO.....	74
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76

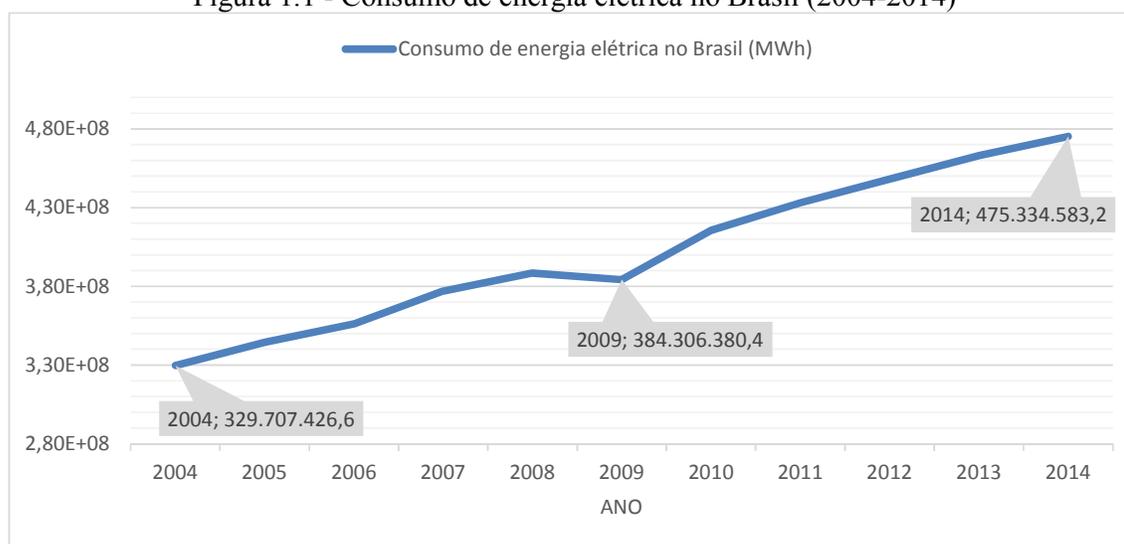
ANEXO A - SOLICITAÇÃO DE ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA -AVT	79
ANEXO B - DADOS DE CUSTOS PARA LINHAS DE MÉDIA TENSÃO	80
ANEXO C - CRITÉRIOS PARA A EXPANSÃO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	82

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, após a implantação do plano real, a partir do ano de 2004 houve uma ascensão econômica, conquistada pela confiabilidade e estabilidade na moeda nacional, o que tornou o país mais convidativo ao investimento de grandes empresas estrangeiras e nacionais. Resultando no crescimento do consumo da população brasileira, devido ao incentivo fornecido pelo governo e do aumento renda familiar. (EPE,2005).

Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), órgão responsável pelo estudo e pesquisa das fontes energéticas destinados ao planejamento; o consumo de energia elétrica entre os anos de 2004 a 2014 teve um crescimento ascendente (EPE,2014), sendo demonstrado com uma diferença perceptiva do consumo de energia elétrica comparando-se os anos de 2004 a 2014, ressaltando um crescimento 44,17%, conforme no gráfico da Figura 1.1.

Figura 1.1 - Consumo de energia elétrica no Brasil (2004-2014)



Fonte: Dados do EPE

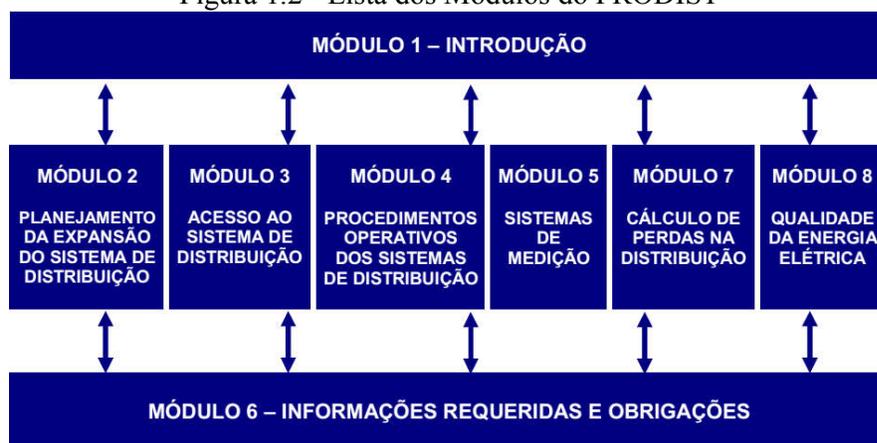
Como observado na Figura 1.1, após o crescimento econômico necessitou-se a ampliação na geração de energia elétrica no país para suprir o aumento do consumo de energia demandado, exigindo-se assim investimentos em diversas formas de geração de energia, como por exemplo, em usinas hidrelétricas, termelétricas, eólicas e solar fotovoltaicas (EPE,2005). Cada uma dessas fontes geradoras de energia é devidamente planejada para operar por várias

décadas, demonstrando que o planejamento é crucial para tais atividades, principalmente para geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica (ELETROBRÁS, 1982).

A realização de cada etapa é feita pelos órgãos regulamentadores, sendo os setores de geração e transmissão representados pelo Sistema Interligado Nacional (SIN), coordenados e controlados pelo Operador Nacional do Sistema (ONS). Os setores de distribuição e de comercialização são representados pelas concessionárias de energia de cada estado ou município (Ruth, 2012). Estes setores citados são regulamentados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

A ANEEL tem a sua regulamentação a nível de distribuição de energia elétrica especificada nos Procedimentos de Distribuição (PRODIST), contendo seis módulos técnicos que abrangem as macro-áreas de ações técnicas dos agentes de distribuição, e dois módulos integradores (ANEEL, 2012), conforme demonstrada na Figura 1.2.

Figura 1.2 - Lista dos Módulos do PRODIST



Fonte: PRODIST Módulo 01

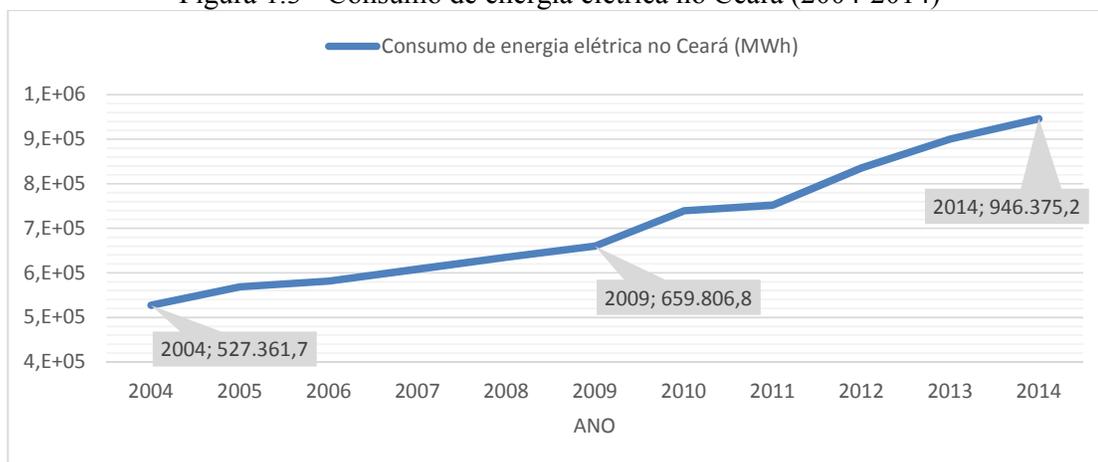
As concessionárias de distribuição de energia elétrica no Brasil estruturam suas redes baseando-se nos critérios dos módulos do PRODIST, que demonstram os princípios fundamentais de planejamento, qualidade e confiabilidade para redes de distribuição.

De acordo com o aspecto de crescimento contínuo do sistema elétrico nacional, as concessionárias necessitam adequar-se a estas mudanças, sendo feitas a partir de manutenções, ampliações e modificações nas estruturas de suas linhas de distribuição de energia. Estas alterações são realizadas rotineiramente, demandando desta forma altos custos.

As concessionárias realizam o planejamento de suas linhas de distribuição para amenizar estes custos adicionais, baseando-se nos dados de carga, demanda das regiões, e

pedidos de liberação de carga solicitados (ELETROBRÁS,1982). Assim, é realizada a estimativa de crescimento dos alimentadores por médios ou longos períodos dependendo do seu nível de tensão de fornecimento. No Ceará o crescimento de carga está ascendente semelhante ao verificado no Brasil, conforme ilustrado no gráfico da Figura 1.3.

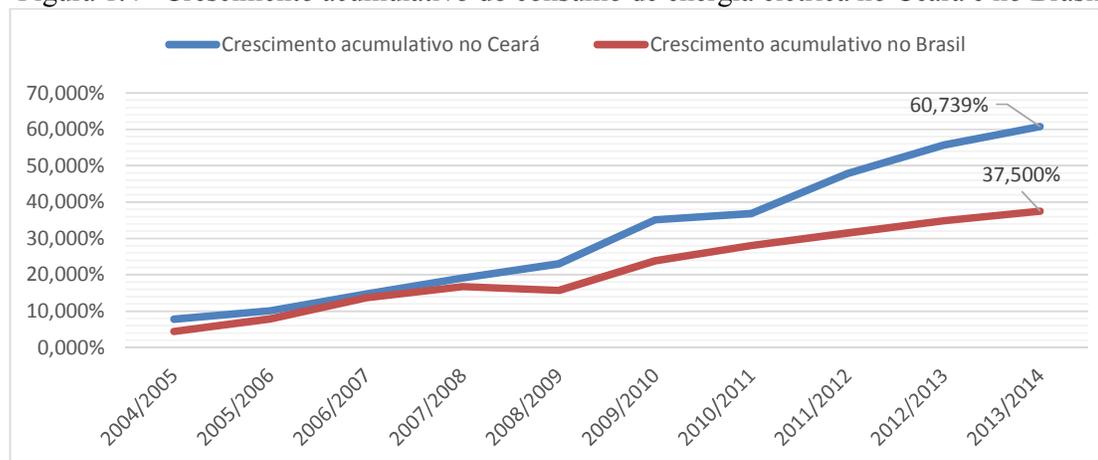
Figura 1.3 - Consumo de energia elétrica no Ceará (2004-2014)



Fonte: Dados do EPE

No Ceará, se for analisado o consumo de energia elétrica entre os anos de 2004 e 2014, percebe-se que houve um crescimento acumulativo acima do registrado no Brasil na maioria dos anos, tendo uma variação em torno de 60,74% no estado do Ceará e 37,50% no Brasil, conforme ilustrado no gráfico da Figura 1.4.

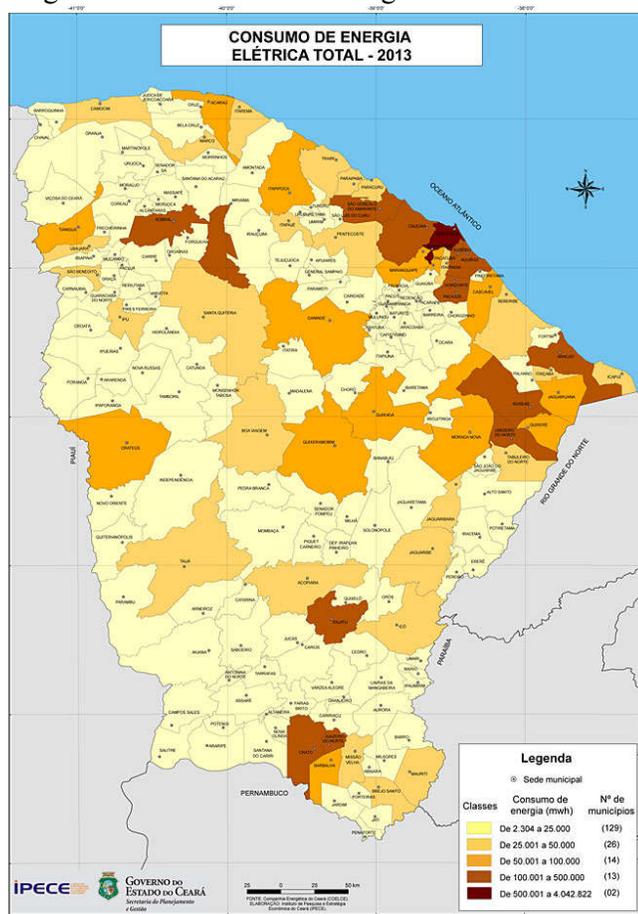
Figura 1.4 –Crescimento acumulativo do consumo de energia elétrica no Ceará e no Brasil



Fonte: Dados do EPE

A situação do crescimento de carga no Ceará não ocorre somente na região metropolitana, mas como também nas outras regiões, as quais demonstram alto consumo de energia elétrica, conforme ilustrado na Figura 1.5 em um estudo do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) em relação ao consumo de energia elétrica no ano de 2013. Os municípios que possuem maior consumo de energia elétrica estão representados com a cor mais escura e os municípios com menor consumo de energia elétrica estão representados com a cor mais clara, conforme ilustrado na própria escala contida da Figura 1.5.

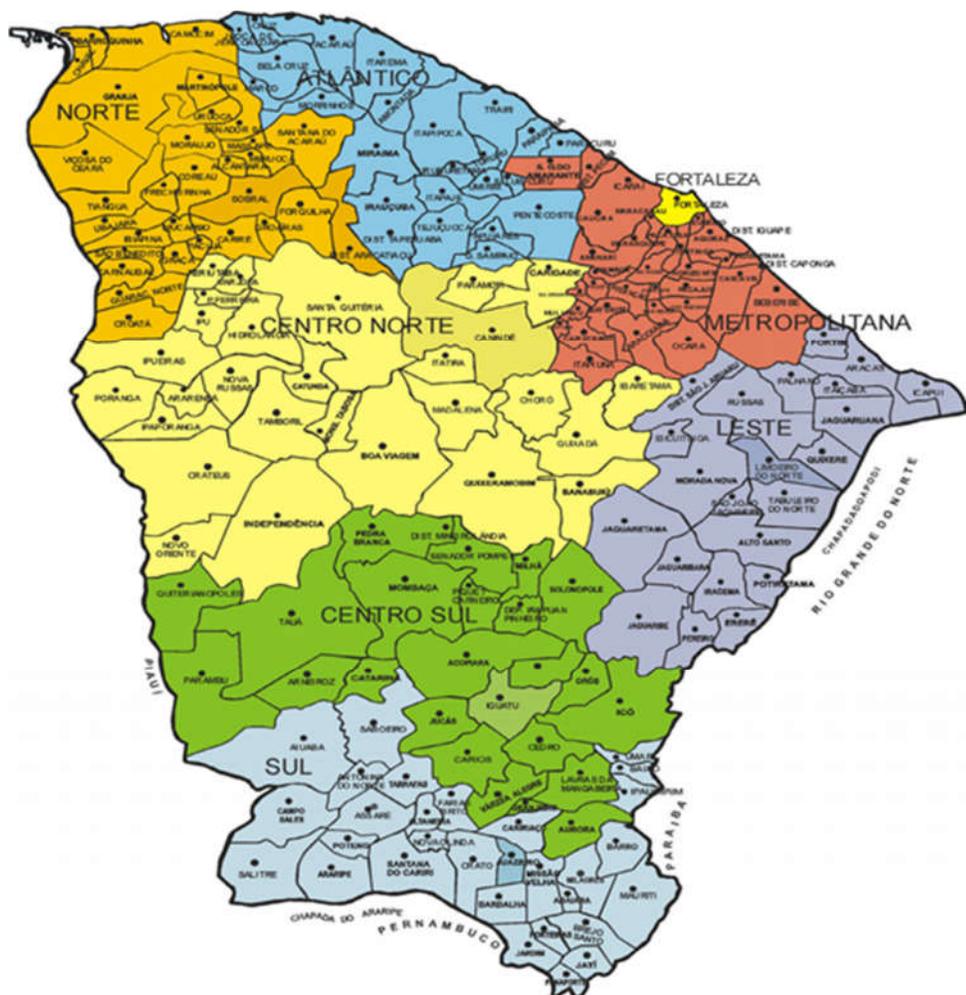
Figura 1.5 - Consumo de Energia Elétrica no Ceará



Baseado nestes dados, a concessionária que detém os direitos de distribuição de energia elétrica no Ceará, Companhia Energética do Ceará (COELCE), teve que readequar as suas linhas de distribuição de energia para suprir a demanda solicitada, devido a ascensão do consumo no estado, mais precisamente nas regiões onde o consumo de energia elétrica é mais

elevado. No Ceará o gerenciamento do sistema de distribuição de energia é realizado a partir de regionais, sendo a sua subdivisão ilustrada na Figura 1.6.

Figura 1.6 – Regionais do estado do Ceará



Fonte: Dados da Coelce

A partir dos dados de consumo de energia é realizado o estudo da situação dos regionais do estado do Ceará, posteriormente, são feitas as devidas mudanças no sistema de distribuição, os quais seguem diretrizes para alteração na sua estrutura, que podem ser a adição de equipamento nas linhas de distribuição, a mudança no cabeamento para outro de maior capacidade de carga, a transferência de carga e a adição de linhas de distribuição na subestação existente.

Porém se por acaso nenhuma destas modificações derem algum resultado significativo no sistema de distribuição para sua correção; será necessário haver um planejamento para uma nova subestação na região onde ocorreu o devido problema (COELCE,2015).

Desta forma o modo de planejamento de uma subestação pela concessionária COELCE deve ser baseado na análise de situação do local onde implantar a SE, nos levantamentos de carga dos alimentadores das subestações próximas conjuntamente com a utilização do aplicativo *Interplan v.1.36.2*, da empresa Daimon Engenharia e Sistemas Ltda, o qual é utilizado para realização do fluxo de carga das linhas de distribuição do sistema a ser estudado.

1.1 Justificativa

O consumo de energia elétrica no Ceará está propagando tanto na região metropolitana como nos municípios do interior do estado, fator ocasionado pela ascensão econômica da população e descentralização de algumas indústrias da região metropolitana (Anpec,2001).

Esta situação ocorre na região norte do interior do Ceará, mais precisamente na cidade de Sobral, a qual está em ascensão econômica há alguns anos, devido ao crescimento industrial e econômico da população, fator este que pode ser correlacionado ao crescimento no índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM), calculado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os dados apontam que no ano 2000 o índice era de 0,537 e no ano 2010 era de 0,714, correspondendo a um crescimento 32,9% em 10 anos, tornando o IDHM de Sobral inferior somente ao de Fortaleza no estado do Ceará (IBGE,2015).

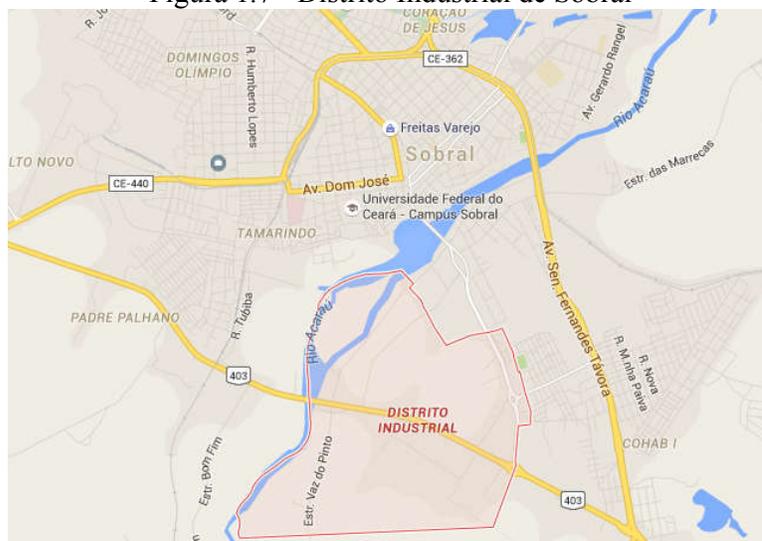
Este constitui um grande desafio para as concessionárias de distribuição de energia elétrica, pois deverão suprir a crescente demanda de carga em seu sistema, exigindo-se então uma maleabilidade na estrutura de suas linhas de distribuição. Esta maleabilidade está relacionada a capacidade de incluir equipamentos na rede, a realização de transferências de carga entre os alimentadores e no reforço das linhas de distribuição. Se as cargas alimentadas por estas linhas de distribuição tiverem em crescimento constante certas modificações tornam-se ineficazes. Logo a distribuidora de energia necessita realizar um estudo de crescimento de carga da região e analisar a implementação de uma subestação no local.

Esta situação vem ocorrendo no município de Sobral e proximidades ao longo dos anos, pois houve uma descentralização de carga no município incentivada pela prefeitura municipal para que indústrias fossem criadas na região demonstrada na Figura 1.7.

A reportagem feita por Jessyca Rodrigues (2013), apresentada no Jornal Diário do Nordeste, aponta o crescimento econômico no município de Sobral a partir dos subsídios feitos pela prefeitura.

De acordo com a Secretária de Tecnologia e Desenvolvimento Econômico (STDE) do Município, Daniela Costa, Sobral se encontra em um momento positivo de crescimento industrial, possuindo inúmeros benefícios e facilidades para os investidores. "Além dos incentivos, o governo municipal ainda disponibiliza o terreno com a infraestrutura de água, esgoto e luz pronta, cedendo-a a indústria, além de galpões que podem ser usados como sede provisória enquanto as sedes permanentes são construídas. Estamos até precisando de mais espaço para isso, pois atualmente não existem mais galpões disponíveis para essa finalidade", aponta (Diário do Nordeste, 2013).

Figura 1.7 - Distrito Industrial de Sobral



Fonte: Google Maps

Com o incentivo, muitas indústrias foram ocupando esta região no decorrer dos anos, formando uma alta demanda de carga concentrada para ser suprida pelos alimentadores da subestação da cidade (PDDU SOBRAL, 1999). Com a expansão industrial ocorreu também o crescimento populacional dos bairros próximos ao distrito industrial, intensificando a

demanda por carga na região. Devido a estes aspectos foi necessária técnica de distribuir energia elétrica para estes blocos de cargas localizados após o Rio Acaraú, tornando-se indispensável a criação de uma nova subestação na região.

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é utilizar os procedimentos de planejamento da concessionária COELCE conjuntamente com o aplicativo *Interplan v1.36.2*, realizar a estruturação de uma subestação de distribuição (SE). Para tal fim, serão feitos o estudo de situação, definindo o local no qual será implementada a SE a partir da concentração de carga da região; a análise das entradas de linhas de 69 kV, das saídas de linhas de 13,8 kV; a avaliação financeira relacionada ao investimento, bem como, a estruturação dos alimentadores da nova SE a partir da reconfiguração dos alimentadores já existentes da SE que distribuía energia a região.

Nesse sentido será necessária a realização de transferências de cargas e aplicação de equipamentos de manobra nas linhas de distribuição, a inclusão dos alimentadores da nova SE e o levantamento das cargas que irão ser alimentadas por eles. A partir da análise de crescimento de carga no horizonte de médio prazo, período de cinco anos, estipulado para o estudo de planejamento de linhas de média tensão.

1.3 Estrutura deste Trabalho

No capítulo 2 são descritos os procedimentos feitos para o planejamento de uma nova SE, algumas definições e outras informações. Em seguida, justifica-se a relevância e necessidade dos estudos nessa área, as ferramentas a serem usadas e o porquê das escolhas destas, mostrando também o objetivo a ser atendido.

No capítulo 3 é apresentado o panorama das subestações localizadas no município de Sobral, demonstrando a situação das linhas de distribuição de média tensão e suas características de carga e de localização geográfica.

No capítulo 4 são descritas as informações sobre a definição da localização da SE, descrevendo os critérios de análises técnicas e econômicas, realizadas para a escolha do terreno onde ela será construída.

No capítulo 5 é desenvolvido a aplicação do planejamento dos alimentadores da subestação, demonstrando como é realizado a sua estruturação e as transferências das linhas de distribuição já existentes com os alimentadores da nova SE e posteriormente o custo para o investimento da proposta escolhida.

No capítulo 6 é abordada a conclusão obtida a partir dos estudos desenvolvidos neste trabalho além de perspectivas futuras de projetos ligados a temática abordada.

2 CONCEITOS BÁSICOS PARA O PLANEJAMENTO DE SUBESTAÇÕES

Neste capítulo será apresentado os critérios de planejamento utilizados para análise do sistema de distribuição e as devidas propostas para solução das violações que ocorrerem. Baseando-se nas normas corporativas da Companhia Energética do Ceará, DCT-006 – Critérios de Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição de Alta e Média Tensão, IT-047 – Planejamento Técnico do Sistema de distribuição de média tensão, e os Módulos 2 e 8 do PRODIST. Posteriormente é demonstrado as principais funções do aplicativo *Interplan v.1.36.2* que é utilizado para análise de fluxo de carga em linhas de média tensão.

2.1 Análise dos critérios para soluções técnicas

A análise dos critérios de demanda, tensão e continuidade são verificados mensalmente, trimestralmente e anualmente pela Coelce. Caso ocorra alguma violação dos critérios em condições de operação normal ou em contingência, sejam necessários realizar o acompanhamento e a correção da devida problemática na rede de distribuição (COELCE,2015). Os critérios de planejamento estão citados no Anexo C.

A maioria das soluções técnicas é realizada sem obra, porém caso não seja possível é realizada a correção baseando-se nas propostas de solução dispostas na norma DCT-06 da Coelce. Estas propostas têm como preferencial as linhas de distribuição de alta tensão, as subestações de distribuição e as linhas de distribuição de média tensão.

2.1.1 Análise dos critérios para Subestações de Distribuição

Verificada a violação dos critérios de planejamento, caso sua correção não seja viável sem execução de obras, será necessário analisar as seguintes propostas em sequência.

- I. Reconfiguração da rede de média tensão da SE;
- II. Remanejamento de carga através da rede de média tensão para outras SE's;
- III. Substituição do Transformador de força da SE;
- IV. Planejamento de uma nova Subestação.

2.1.2 Análise dos critérios para LDAT's

Verificada a violação dos critérios de planejamento, caso sua correção não seja viável sem execução de obras. Será necessário realizar o recondutoramento do circuito ou a construção de um novo circuito, sendo a opção definida de acordo com os estudos técnicos e econômicos. Durante a análise dos estudos é realizado a deterioração dos componentes visando a segurança e a diminuição de operações em contingência.

2.1.3 Análise dos critérios para LDMT's

Verificada a violação dos critérios de planejamento algumas operações são realizadas para remanejar carga, como a reconfiguração da rede de média tensão ou a realização de transferências de cargas a partir de manobras em chaves. Se as devidas operações não resultarem em uma solução efetiva, será necessário analisar a possibilidade de execuções de obras para a correção.

Dentre as soluções estão o reforço e a instalação de equipamentos de correção de tensão e de reativos na rede que são, os bancos de capacitores fixos e automáticos e os bancos reguladores de tensão. Outras soluções seriam a instalação de equipamentos de seccionamento automático, como seccionalizadores e religadores de linha. e as alterações nas linhas de distribuição, como o reforço da linha principal a partir de recondutoramento e a redistribuição de carga das linhas de distribuição a partir de outros alimentadores. Após analisar as alternativas e for visto que não há uma solução viável da situação, será necessário realizar o planejamento de uma nova SE na região.

2.2 Instruções para soluções técnicas

Após a definição da necessidade de obra, é realizado o planejamento de rede para devida correção analisando os critérios de demanda, tensão e continuidade, baseando-se nos dados de carga do equipamento ou elemento, conjuntamente com os planos diretores e planos de desenvolvimento urbano (PDDU) dos municípios. Os parâmetros de estudo são citados na norma corporativa IT-047 da Coelce e o Módulo II do PRODIST sendo definidos a partir de horizontes de estudo de curto, médio e longo prazo.

O horizonte de estudo de curto prazo, dois anos, e o de médio prazo, cinco anos, são utilizados para estudos de planejamento de equipamentos e elementos em sistemas de distribuição de média tensão (SDMT) (COELCE,2012).

Antes de ser iniciado o estudo, é realizado a extração dos dados de rede de média tensão utilizados para a definição do caso base. Posteriormente são realizadas as correções dos condutores, equipamentos e demanda dos alimentadores para condição de máxima carga em quatro patamares, madrugada, manhã, tarde e noite, baseando-se em uma análise anual dos alimentadores. O incremento de carga é definido a partir do crescimento vegetativo das subestações de subtransmissão que alimentam as subestações estudadas e a implementação das Análises de Viabilidade Técnica (AVT's) na rede de média tensão, documentos enviados por consumidores para pedido de acesso a rede de média tensão para a concessionária, tendo o seu modelo de documento no Anexo A.

Após as correções são realizados os estudos de curto e médio prazo, analisando as alterações na rede de média tensão e verificando no decorrer dos anos se existe alguma violação dos critérios de planejamento. Caso não for verificada alguma violação dos critérios é autorizada a análise da viabilidade econômica da proposta, realizando as correções necessárias caso contrário (COELCE,2014).

O horizonte de estudo de longo prazo, dez anos, é utilizado para o planejamento de equipamentos e elementos em sistemas de distribuição de alta tensão (SDAT). Antes de ser iniciado o estudo é realizado a extração da rede básica de transmissão disponibilizada pela ONS para definição do caso base. Posteriormente é analisado e verificado no decorrer dos anos se existe alguma violação dos critérios de planejamento, ocasionados pelas alterações na rede básica de transmissão. Caso não for verificada nenhuma violação dos critérios é autorizada a análise da viabilidade econômica da proposta, realizando as correções necessárias caso contrário (COELCE,2014).

2.3 Introdução ao aplicativo Interplan

O aplicativo Interplan realiza o fluxo de carga em sistemas de distribuição em média tensão. Nele é possível obter os dados dos trechos de rede, que são necessários para análise da qualidade de fornecimento de energia baseados nos critérios de tensão, continuidade e demanda.

Para isto é realizado a configuração do aplicativo a partir dos parâmetros de demanda, tensão e corrente. Nas figuras 2.1 e 2.2 estão sendo ilustradas as configurações de rede no aplicativo.

Figura 2.1 - Configuração do Fluxo de potência

Fonte: aplicativo *Interplan*

Figura 2.2 - Configuração do Diagnóstico de rede

Fonte: aplicativo *Interplan*

Nas figuras 2.1 e 2.2 foram definidos os parâmetros para análise de rede de média tensão no aplicativo *Interplan*, que ilustram a criticidade das linhas de média tensão a partir de sua cor, sendo a cor verde determinando que o nível de tensão e corrente no trecho inspecionado

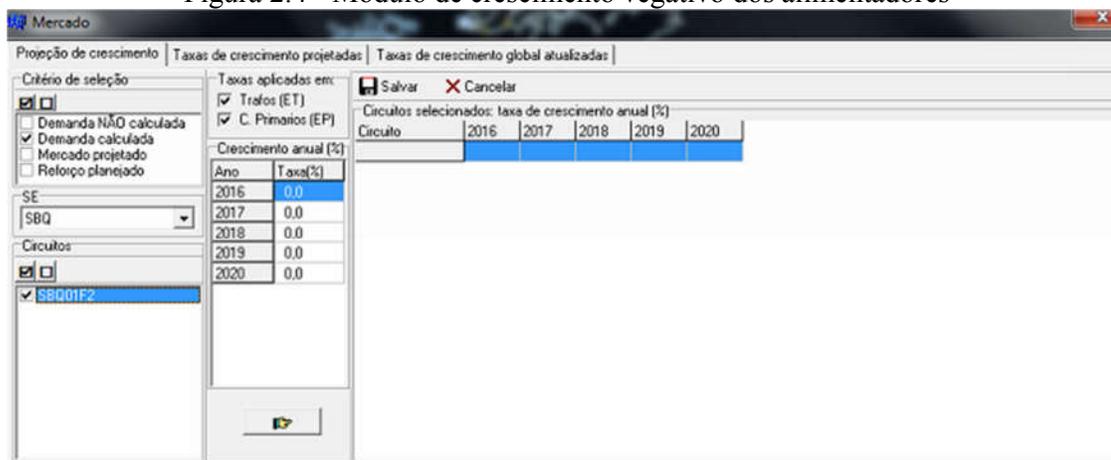
está no nível ótimo, a cor amarela indica que está no nível adequado e a cor vermelha indica que está no nível precário (DAIMON LTDA,2013). Posteriormente são corrigidos os patamares de carga e incluído o crescimento vegetativo dos alimentadores que serão utilizados no estudo do planejamento de rede de média tensão durante o período de estudo, de acordo com o ilustrado nas figuras 2.3 e 2.4.

Figura 2.3 - Módulo de correção da demanda



Fonte: software Interplan

Figura 2.4 - Módulo de crescimento vegetativo dos alimentadores

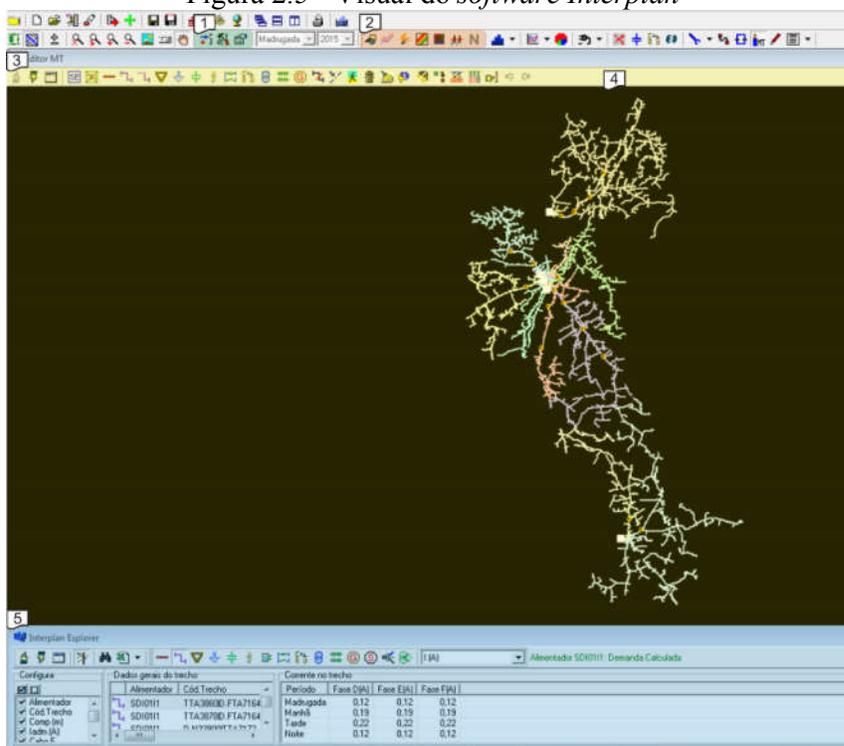


Fonte: software Interplan

As ferramentas utilizadas para correção no sistema de distribuição de média tensão estão todos dispostos no aplicativo. Contendo os módulos de visualização do sistema, que são o fluxo de potência, os condutores de rede, a disposição da linha principal do alimentador, o diagnóstico de rede, o carregamento em quadriculas e o *Interplan Explorer*. Como também contém o módulo de edição de rede contendo as funções de recondução e construção de

linhas, alocação de bancos reguladores de tensão e bancos de capacitores, inclusão de subestações, alimentadores, estações primárias, que são os transformadores particulares, e estações transformadoras, que são os transformadores da concessionária, sendo casa uma delas enumeradas na figura 2.5.

Figura 2.5 - Visual do *software Interplan*



Fonte: *software Interplan*

- 1- **Comandos de visualização de rede:** Local para acionar ou ocultar a visualização de equipamentos de rede, linhas de média tensão e subestações.
- 2- **Módulos de análise:** Local destinado aos módulos de visualização de rede que são utilizados para análise.
- 3- **Editor de Média Tensão:** Local destinado a ativar comandos para realização de modificações na rede de média tensão das subestações selecionadas.
- 4- **Janela de visualização de rede:** Local destinado a visualização dos equipamentos, linhas de média e subestações da rede escolhida.
- 5- **Módulo Interplan Explorer:** Destinado a visualização de parâmetros dos equipamentos da rede de média tensão escolhidos.

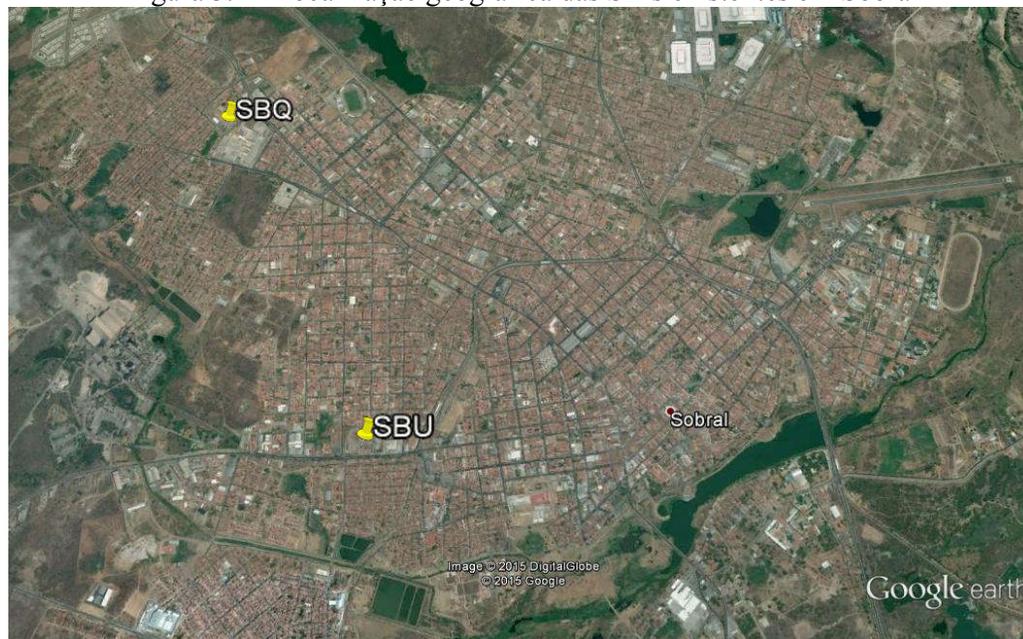
3 ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresenta a configuração atual da rede de distribuição de média tensão das SE's localizadas no município de Sobral, que são as subestações Sobral I (SBU) e Sobral IV (SBQ). Ilustrando a localização geográfica dos trechos da rede de média tensão, quais as transferências de cargas possíveis e a análise da demanda de cada um dos alimentadores, a partir dos dados coletados no período de agosto de 2014 até setembro de 2015 utilizando os aplicativos Google Earth e PI DATALINK da Coelce.

3.1 Panorama das subestações de Sobral

A cidade de Sobral contém duas subestações abaixadores de 69/13,8 kV, que são a SBU (Sobral I) e SBQ (Sobral IV), estas SE's alimentam cargas com características residenciais, rurais, comerciais e industriais, a partir de seus alimentadores. Na Figura 3.1 é ilustrado a localização geográfica das subestações citadas.

Figura 3.1 - Localização geográfica das SE's existentes em Sobral



Fonte: Google Earth

3.1.1 Alimentadores da SE SBU

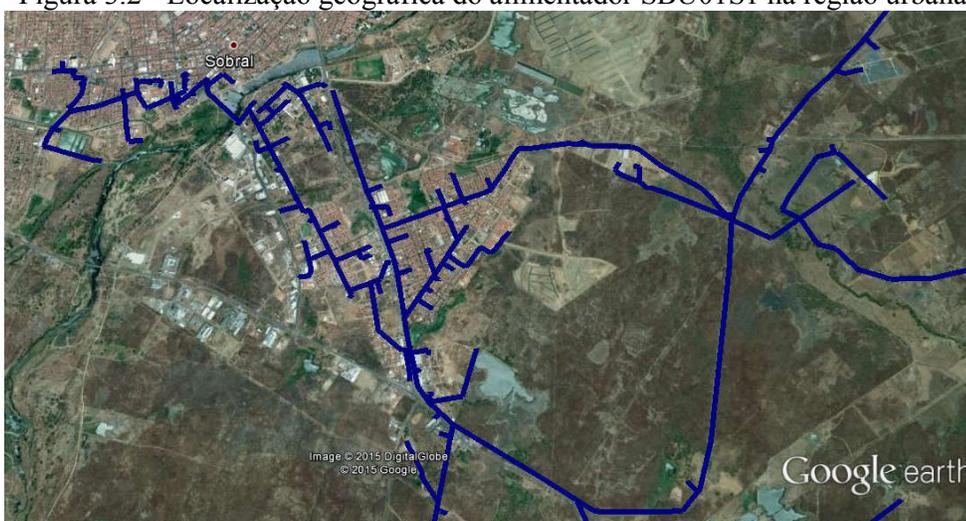
A subestação SBU (Sobral I) foi implementada para alimentação das cargas do município. Atualmente possui dois transformadores de força com capacidade de 20 MVA cada, sem ventilação forçada, e 26,6 MVA cada, utilizando a ventilação forçada, contendo nove alimentadores com condutoramento em 266,6 CAA. Sua rede é predominantemente aérea distribuindo energia elétrica para as regiões urbana e rural de Sobral e cidades próximas como Forquilha, Jaibaras, Groaíras e Distritos.

3.1.1.1 Alimentador SBU01S1

O alimentador SBU01S1 possui uma grande extensão, tendo características de rede de distribuição rural e urbana, pois percorre desde a parte central da cidade de Sobral até a região rural dos municípios de Groaíras e Forquilha. Devido a sua dimensão ele possui cargas industriais, rurais, residenciais e comerciais. As figuras 3.2 e 3.3 ilustram a localização geográfica dos trechos na região urbana e a extensão total do alimentador.

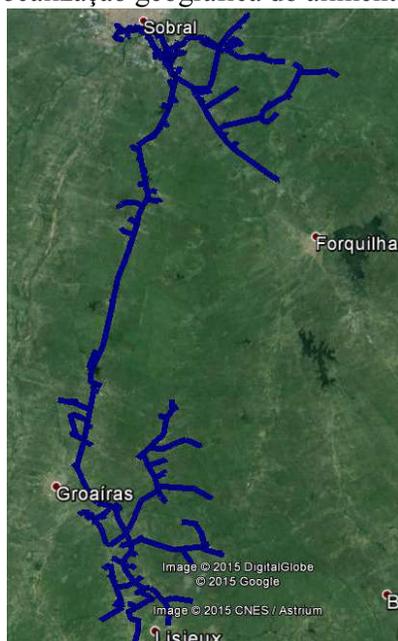
Posteriormente foi analisada que a carga demandada pelo alimentador SBU01S1 é maior no período da tarde, tendo como demanda máxima em regime nominal, ou seja, sem contingência, aproximadamente 314 A, conforme ilustrado no gráfico da figura 3.4.

Figura 3.2 - Localização geográfica do alimentador SBU01S1 na região urbana



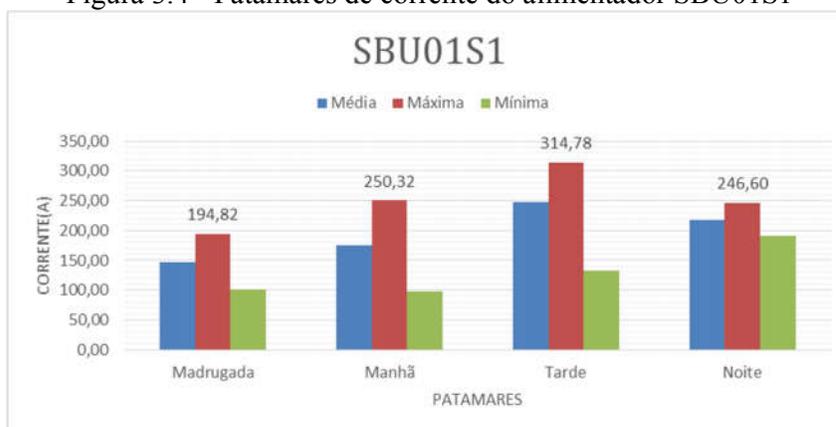
Fonte: Dados Coelce no Google Earth (Escala 1:200m)

Figura 3.3 - Localização geográfica do alimentador SBU01S1



Fonte: Dados Coelce no Google Earth (Escala 1:50km)

Figura 3.4 - Patamares de corrente do alimentador SBU01S1



Fonte: Dados da COELCE (PI DATALINK)

O alimentador em seu percurso possui encontros com os alimentadores SBU01S2, SBU01S3, SBU01S8 e SBU01S9, da mesma SE, e também com o alimentador CRE01C2, da SE CRE (Cariré).

3.1.1.2 Alimentador SBU01S2

O alimentador SBU01S2 é localizado na região central da cidade de Sobral, tendo característica de rede de distribuição urbana, pois percorre desde o bairro Centro até ao bairro Derby. Devido a isto possui predominância de carga residencial e comercial em seu percurso. A figura 3.5 ilustra a extensão total do alimentador.

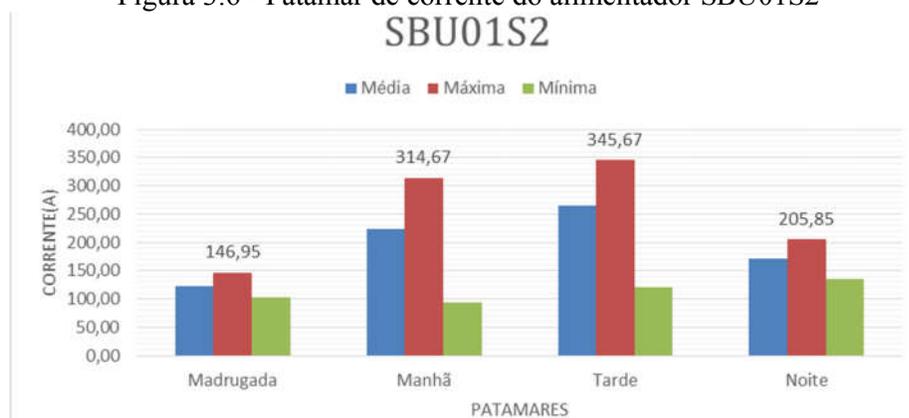
Figura 3.5 - Localização geográfica do alimentador SBU01S2



Fonte: Dados Coelce no Google Earth (Escala 1:200m)

Posteriormente foi analisada a carga demandada pelo alimentador SBU01S2 é maior no período da tarde, tendo como demanda máxima em regime nominal, ou seja, sem contingência, aproximadamente 350 A, conforme ilustrado no gráfico da figura 3.6.

Figura 3.6 - Patamar de corrente do alimentador SBU01S2



Fonte: Dados da COELCE (PI SYSTEM)

O alimentador em seu percurso possui encontros com os alimentadores SBU01S1 e SBU01S3 da mesma SE.

3.1.1.3 Alimentador SBU01S3

O alimentador SBU01S3 possui uma grande extensão, tendo características de rede de distribuição rural e urbana, pois percorre desde a parte central da cidade de Sobral até a região rural dos municípios de Patriarca, Santana do Acaraú e Forquilha. Devido a sua dimensão ele possui cargas rurais, residenciais e comerciais. As figuras 3.7 e 3.8 ilustram a localização geográfica dos trechos na região urbana e a extensão total do alimentador.

Figura 3.7 - Localização geográfica do alimentador SBU01S1 na região urbana



Fonte: Dados Coelce no Google Earth (Escala 1 :200m)

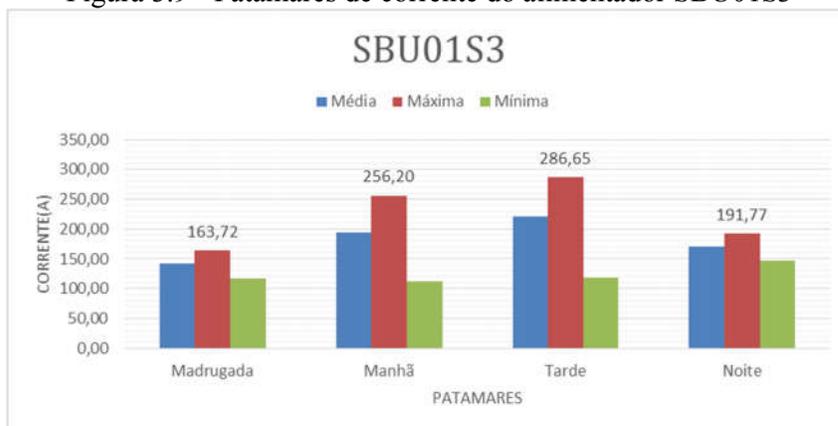
Figura 3.8 - Localização geográfica do alimentador SBU01S3



Fonte: Dados Coelce no Google Earth (Escala 1:50km)

Posteriormente foi a carga demandada pelo alimentador SBU01S3 é maior no período da tarde, tendo como demanda máxima em regime nominal, ou seja, sem contingência, aproximadamente 290 A, conforme ilustrado no gráfico da figura 3.9.

Figura 3.9 - Patamares de corrente do alimentador SBU01S3



Fonte: Dados da COELCE (PI SYSTEM)

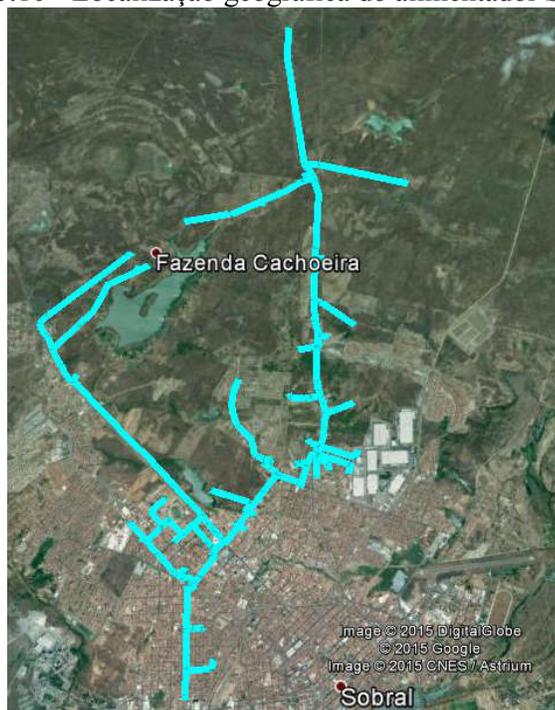
O alimentador em seu percurso possui encontros com os alimentadores SBU01S1, SBU01S2, SBU01S3 e SBU01S9, da mesma SE, e também com os alimentadores MSP01P2, MSP01P3 e CRC01C1, das SE's de MSP (Massapé) e CRC (Caracará).

3.1.1.4 Alimentador SBU01S4

O alimentador SBU01S4 possui uma grande extensão, tendo características de rede de distribuição rural e urbana, pois percorre desde a parte central da cidade de Sobral até as regiões periféricas dos bairros do Junco e Colina da Boa Vista. Devido a sua dimensão ele possui cargas rurais, residenciais e comerciais. A figura 3.10 ilustra a extensão total do alimentador.

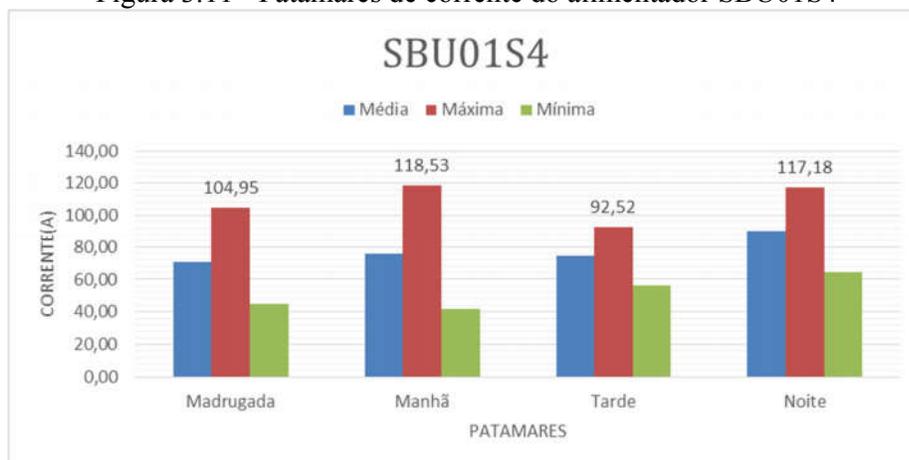
Posteriormente foi analisada a carga demandada pelo alimentador SBU01S4 é maior no período da noite, tendo como demanda máxima em regime nominal, ou seja, sem contingência, aproximadamente 118 A, conforme ilustrado no gráfico da Figura 3.11.

Figura 3.10 - Localização geográfica do alimentador SBU01S4



Fonte: Google Earth (Escala 1:20km)

Figura 3.11 - Patamares de corrente do alimentador SBU01S4



Fonte: Dados da COELCE (PI SYSTEM)

O alimentador em seu percurso possui encontros com os alimentadores SBU01S5 e SBU01S6, da mesma SE, e também com os alimentadores MSP01P2 e SBQ01F3, das SE's MSP (Sobral I) e SBQ (Sobral IV).

3.1.1.5 Alimentador SBU01S5

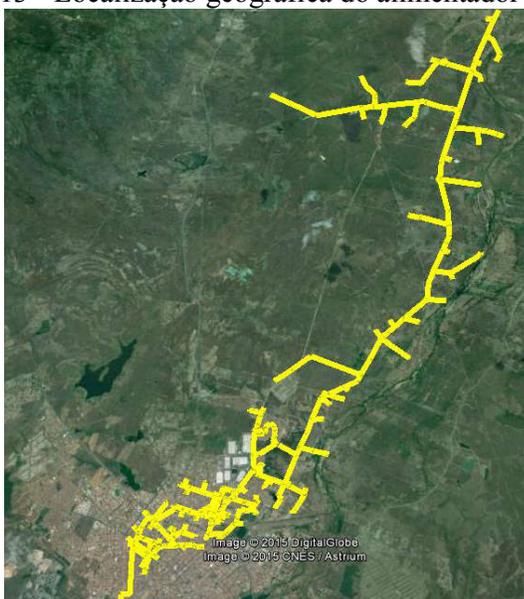
O alimentador SBU01S5 possui uma grande extensão, tendo características de rede de distribuição rural e urbana, pois percorre desde a parte central da cidade de Sobral até o município de Tuína. Devido a sua dimensão ele possui cargas industriais, rurais, residenciais e comerciais. As figuras 3.12 e 3.13 ilustram a localização geográfica dos trechos na região urbana e a extensão total do alimentador.

Figura 3.12 - Localização geográfica do alimentador SBU01S5 na região urbana



Fonte: Dados da Coelce no Google Earth (Escala 1:200m)

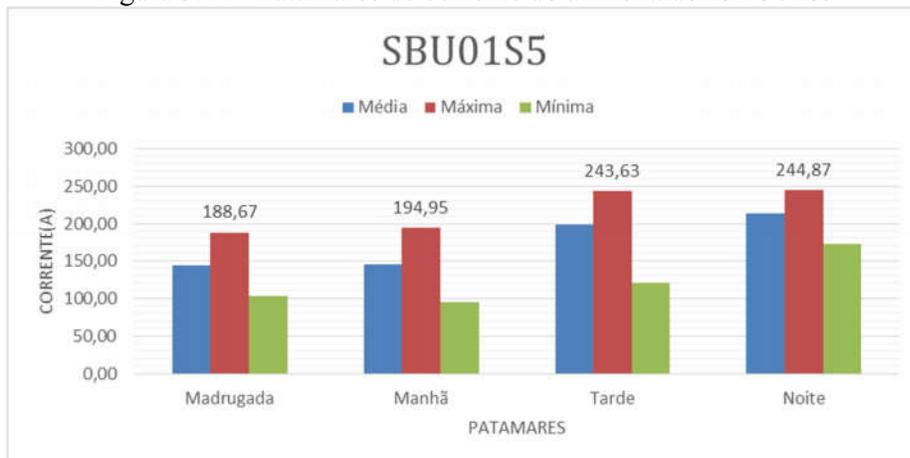
Figura 3.13 - Localização geográfica do alimentador SBU01S5



Fonte: Dados da Coelce no Google Earth (Escala 1:50km)

Posteriormente foi analisada a carga demandada pelo alimentador SBU01S5 é maior no período da noite, tendo como demanda máxima em regime nominal, ou seja, sem contingência, aproximadamente 244 A, conforme ilustrado no gráfico da Figura 3.14.

Figura 3.14 - Patamares de corrente do alimentador SBU01S5



Fonte: Dados da COELCE (PI SYSTEM)

O alimentador em seu percurso possui encontros com os SBU01S3 e SBU01S4, da mesma SE, e também com o alimentador MSP01P2, da SE MSP.

3.1.1.6 Alimentador SBU01S6

O alimentador SBU01S6 é localizado na região periférica da cidade de Sobral, tendo característica de rede de distribuição urbana, pois percorre desde o bairro Padre Ibiapina até ao bairro Terrenos Novos. Devido a isto possui uma predominância de carga residencial e comercial em seu percurso. A figura 3.15 ilustra a extensão total do alimentador.

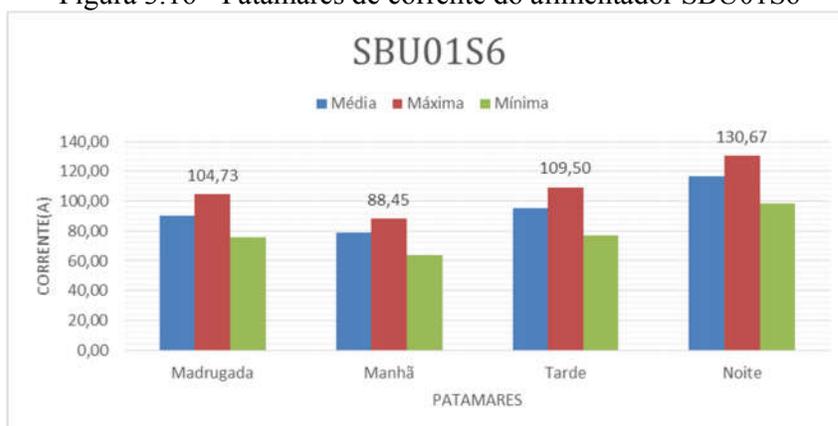
Posteriormente foi analisada a carga demandada pelo alimentador SBU01S6 é maior no período a noite, tendo como demanda máxima em regime nominal, ou seja, sem contingência, aproximadamente 130 A, conforme ilustrado no gráfico da Figura 3.16.

Figura 3.15 - Localização geográfica do alimentador SBU01S6



Fonte: Dados da Coelce no Google Earth (Escala 1:200m)

Figura 3.16 - Patamares de corrente do alimentador SBU01S6



Fonte: Dados da COELCE (PI SYSTEM)

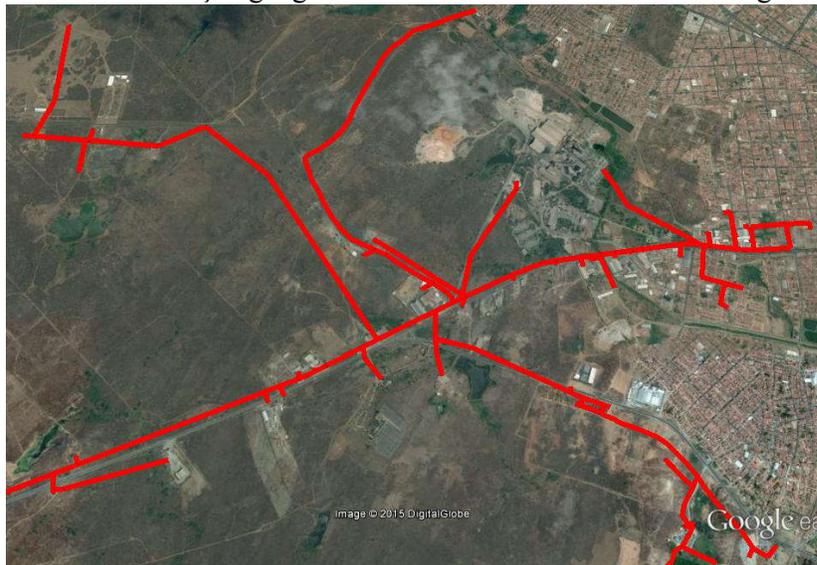
O alimentador em seu percurso possui encontros com os alimentadores SBU01S4 e SBU01S7, da mesma SE, e também com o alimentador SBQ01F4, da SE SBQ.

3.1.1.7 Alimentador SBU01S7

O alimentador SBU01S7 possui uma grande extensão, tendo características de rede de distribuição rural e urbana, pois percorre desde a parte periférica da cidade de Sobral alimentando cargas do Distrito Industrial I até os municípios de Jaibaras e Distrito de Bonfim.

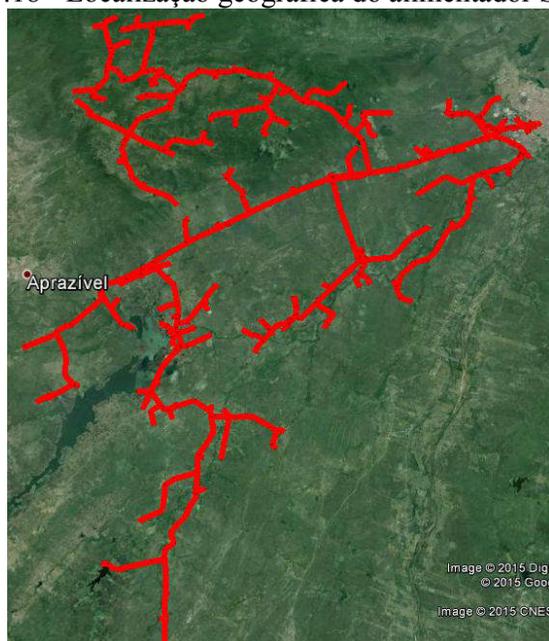
Devido a sua dimensão ele possui cargas industriais, rurais, residenciais e comerciais. As figuras 3.17 e 3.18 ilustram a localização geográfica dos trechos na região urbana e a extensão total do alimentador.

Figura 3.17 - Localização geográfica do alimentador SBU01S7 na região urbana



Fonte: Dados da Coelce no Google Earth (Escala 1:500m)

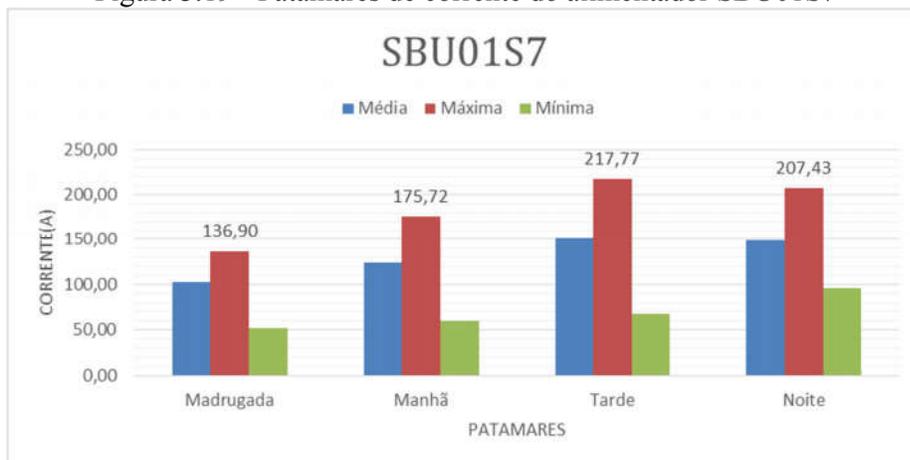
Figura 3.18 - Localização geográfica do alimentador SBU01S7



Fonte: Dados da Coelce no Google Earth (Escala 1:50km)

Foi analisado que a carga demandada pelo alimentador SBU01S7 é maior no período da tarde, tendo como demanda máxima em regime nominal, ou seja, sem contingência, aproximadamente 220 A, conforme ilustrado no gráfico da figura 3.19.

Figura 3.19 - Patamares de corrente do alimentador SBU01S7



Fonte: Dados da COELCE (PI SYSTEM)

O alimentador em seu percurso possui encontros com os alimentadores SBU01S6, SBU01S8 e SBU01S9, da mesma SE, e também com o alimentador CRU01C4, da SE CRU (Coreaú).

3.1.1.8 Alimentador SBU01S8

O alimentador SBU01S8 possui uma grande extensão, tendo características de rede de distribuição rural e urbana, pois percorre desde a parte periférica da cidade de Sobral alimentando cargas do Distrito Industrial até o Distrito de São Vicente. Devido a sua dimensão ele possui cargas industriais, rurais, residenciais e comerciais. As figuras 3.20 e 3.21 ilustram a localização geográfica dos trechos na região urbana e a extensão total do alimentador.

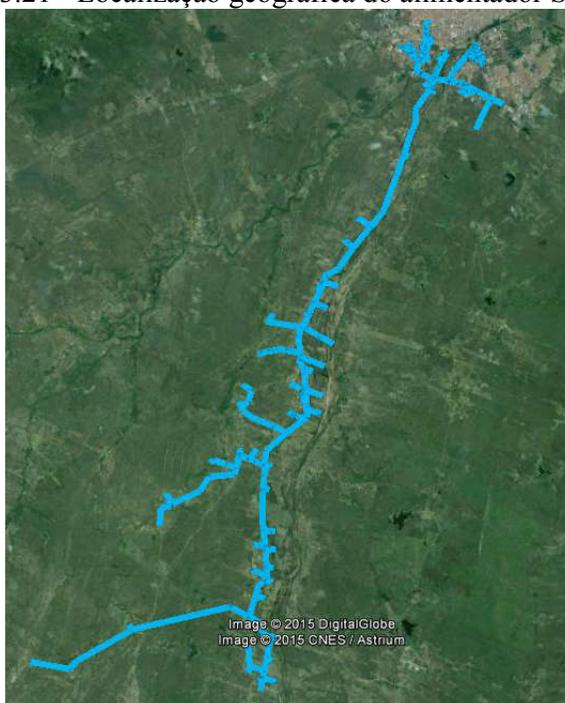
Posteriormente foi analisada a carga demandada pelo alimentador SBU01S8 é maior no período da tarde, tendo como demanda máxima em regime nominal, ou seja, sem contingência, aproximadamente 290 A, conforme ilustrado no gráfico da figura 3.22.

Figura 3.20 - Localização geográfica do alimentador SBU01S8 na região urbana



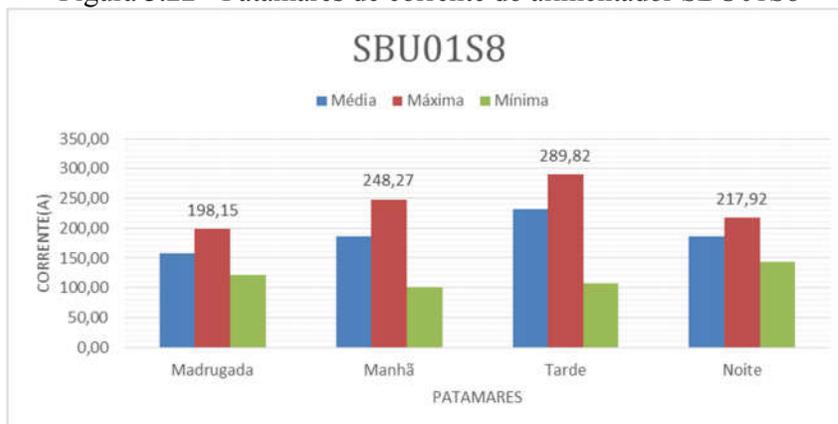
Fonte: Dados da Coelce no Google Earth (Escala 1:200m)

Figura 3.21 - Localização geográfica do alimentador SBU01S8



Fonte: Dados da Coelce no Google Earth (Escala 1:50km)

Figura 3.22 - Patamares de corrente do alimentador SBU01S8



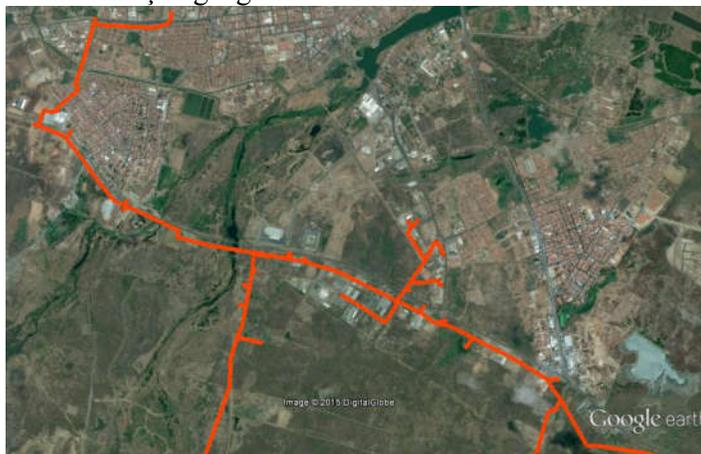
Fonte: Dados da COELCE (PI SYSTEM)

O alimentador em seu percurso possui encontros com os alimentadores SBU01S7 e SBU01S9, da mesma SE, e também com o alimentador CRE01C2, da SE CRE.

3.1.1.9 Alimentador SBU01S9

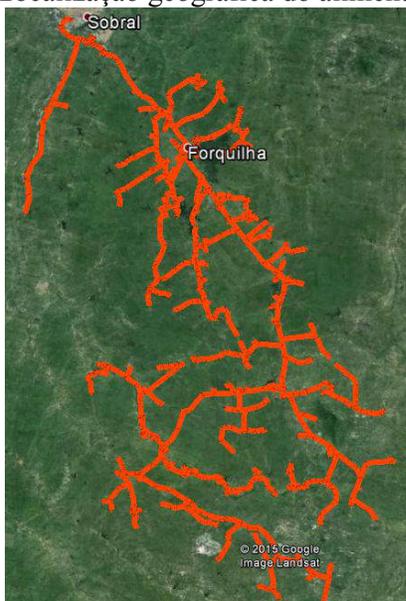
O alimentador SBU01S9 possui uma grande extensão, tendo características de rede de distribuição rural e urbana, pois percorre desde a parte periférica da cidade de Sobral alimentando cargas do Distrito Industrial até os municípios de Forquilha e região rural de Santa Quitéria. Devido a sua dimensão ele possui cargas industriais, rurais, residenciais e comerciais. As figuras 3.23 e 3.24 ilustram a localização geográfica dos trechos na região urbana e a extensão total do alimentador.

Figura 3.23 - Localização geográfica do alimentador SBU01S9 na região urbana



Fonte: Dados da Coelce no Google Earth (Escala 1:200m)

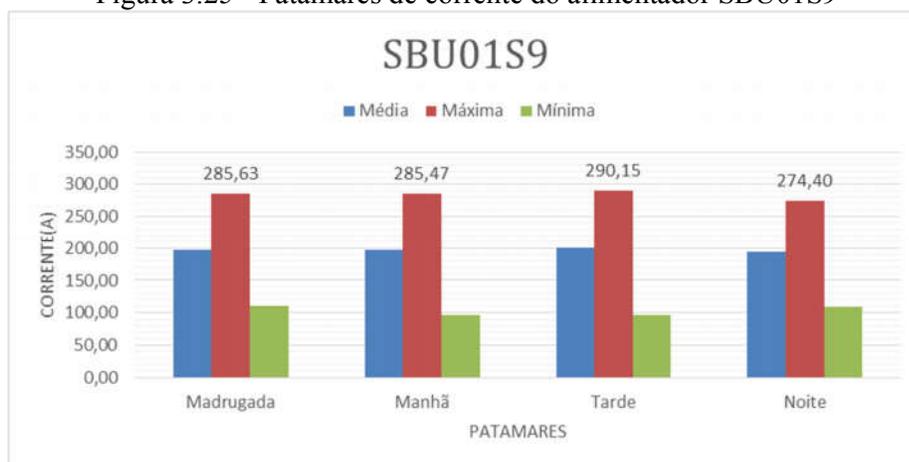
Figura 3.24 - Localização geográfica do alimentador SBU01S9



Fonte: Dados da Coelce no Google Earth (Escala 1:50km)

Foi analisado que a carga demandada pelo alimentador SBU01S9 é aproximadamente constante nos períodos de madrugada, manhã, tarde e noite, por volta de 290 A, conforme ilustrado no gráfico da figura 3.25.

Figura 3.25 - Patamares de corrente do alimentador SBU01S9



Fonte: Dados da COELCE (PI SYSTEM)

O alimentador em seu percurso possui encontros com os alimentadores SBU01S3, SBU01S7 e SBU01S8, da mesma SE, e também com os alimentadores SQT01F3 e SQT01F4, da SE SQT.

3.1.2 Alimentadores da SE SBQ

A subestação SBQ (Sobral IV) foi implementada em 2014 devido a necessidade de alimentar o Hospital Regional Norte de Sobral e os blocos habitacionais do programa “Minha Casa Minha Vida” do Governo Federal, de acordo com informações internas da Coelce.

Atualmente, possui um transformador de potência de capacidade de 5 MVA, sem ventilação forçada, e 7,5 MVA, com ventilação forçada, contendo dois alimentadores com condutoramento 266,6 CAA e possibilidade para construção de uma nova linha (bay). sua rede predominantemente aérea distribuindo energia elétrica para as cidades de Sobral, Meruoca e seus Distritos.

3.1.2.1 Alimentador SBQ01F3

O alimentador SBQ01F3 possui uma grande extensão, tendo características de rede de distribuição rural e urbana, pois percorre desde a parte central da cidade de Sobral até a região urbana e rural do município de Meruoca. Devido a sua dimensão ele possui cargas rurais, residenciais e comerciais. As figuras 3.26 e 3.27 ilustram a localização geográfica dos trechos na região urbana de Sobral e a extensão total do alimentador.

Figura 3.26 - Localização geográfica do alimentador SBQ01F3 na região urbana



Fonte: Dados da Coelce no Google Earth (Escala 1:500m)

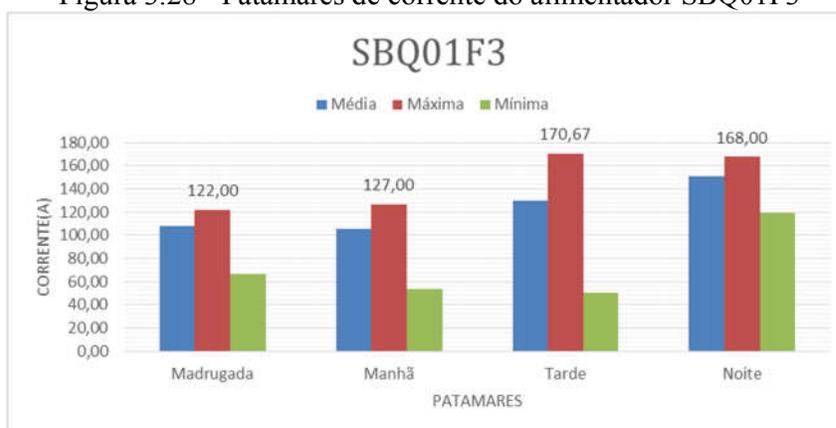
Figura 3.27 - Localização geográfica do alimentador SBQ01F3



Fonte: Dados da Coelce no Google Earth (Escala 1:50km)

Posteriormente foi analisada a carga demandada pelo alimentador SBQ01F3 é maior no período da tarde, tendo como demanda máxima em regime nominal, ou seja, sem contingência, aproximadamente 170 A, conforme ilustrado no gráfico da figura 3.28.

Figura 3.28 - Patamares de corrente do alimentador SBQ01F3



Fonte: Dados da COELCE (PI DATALINK)

Este alimentador em seu percurso possui encontro com outro alimentador da mesma SE, sendo ele o SBQ01F4, como também com alimentadores de outra SE's, neste caso sendo o SBU01S4, SBU01S6 e CRU01C3.

3.1.2.2 Alimentador SBQ01F4

O alimentador SBQ01F4 é localizado ao lado Hospital Regional de Sobral. O seu percurso é pequeno devido a prioridade deste alimentador ser distribuir energia ao hospital. Na figura 3.29 ilustra a extensão total do alimentador.

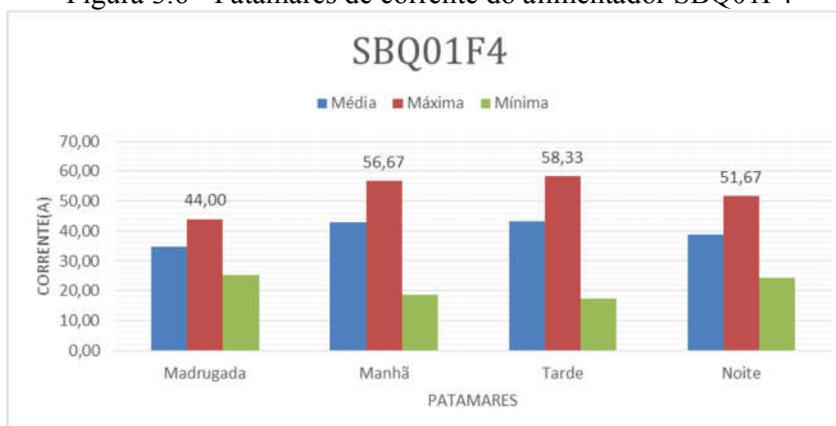
Figura 3.29 - Localização geográfica do alimentador SBQ01F4



Fonte: Dados da Coelce no Google Earth (Escala 1:50m)

Posteriormente foi analisado a carga demandada pelo alimentador SBQ01F4 ser aproximadamente constante devido a principal carga ser o Hospital Regional Norte, tendo como demanda máxima em regime nominal, ou seja, sem contingência, por volta de 60 A, conforme ilustrado no gráfico da figura 3.30.

Figura 3.6 - Patamares de corrente do alimentador SBQ01F4



Fonte: Dados da COELCE (PI DATALINK)

O alimentador em seu percurso possui encontro com o alimentador SBQ01F3, da mesma SE, e também com o alimentador SBU01S6, da SE SBU (Sobral I).

3.2 Análise dos alimentadores das SE's de Sobral

Foi analisado a partir do aplicativo *Interplan* e dos dados da Coelce a violação dos critérios técnicos estabelecidos na norma DCT-06 nas subestações de Sobral, tendo como prioridade realizar os devidos procedimentos para a correção das problemáticas. Verificou-se que alguns alimentadores da SE's de Sobral I (SBU) e Sobral IV (SBQ) não estavam dentro dos padrões estabelecidos de demanda, tensão e continuidade.

Após serem feitas as correções de demanda e crescimento vegetativo das SE's que são alimentadas a partir da SE SBD da CHESF, foi analisado o critério de tensão nos alimentadores a partir do aplicativo *Interplan*. A porcentagem de crescimento vegetativo das SE's nos anos de 2016 a 2020 é ilustrado na tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Crescimento Vegetativo da SE SBD

Crescimento Vegetativo das SE's				
2016	2017	2018	2019	2020
3,7%	5,2%	4,8%	5,1%	4,0%

Fonte: Dados Coelce

Verificou-se a partir do módulo de fluxo de potência do *Interplan* que os alimentadores SBU01S1, SBU01S2, SBU013, SBU01S8 e SBU01S9 obtiveram baixos níveis de tensão e de fator de potência e contendo altos valores de carga no ano de 2015, conforme ilustrado na figura 3.31.

Posteriormente foi analisado o critério de continuidade no ano de 2015 dos alimentadores. Verificando que contribuições dos alimentadores da SE SBU tiveram cerca de 20% e do alimentador SBQ01F3 cerca de 4,5% da afetação total do FEC e no DEC tiveram cerca de 17% e do alimentador SBQ01F3 cerca de 5,5% da afetação total dos alimentadores do regional norte do Ceará, sendo estes parâmetros explanados no Anexo C. Conforme os dados ilustrados na Tabela 3.2.

Figura 3.7 – Módulo de Visualização de fluxo de carga na SE SBU



Fonte: Dados Coelce

Tabela 3.2 - Dados de continuidade de serviço de 2015

Conjunto	Alimentador	Cliente x Tempo	Cliente Afetados	Contribuição DEC (%)	Contribuição FEC (%)
SBQ	SBQ01F3	115.232,2	51.151	5,403%	4,461%
SBQ	SBQ01F4	34,21	3	0,2%	0,1%
SBU	SBU01S1	64.269,9	29.239	3,014%	2,550%
SBU	SBU01S2	8.026,2	5.072	0,376%	0,442%
SBU	SBU01S3	39.263,2	22.480	1,841%	1,961%
SBU	SBU01S4	19.485,8	12.499	0,914%	1,090%
SBU	SBU01S5	33.296,4	23.610	1,561%	2,059%
SBU	SBU01S6	19.073,2	12.500	0,894%	1,090%
SBU	SBU01S7	52.142,7	35.686	2,445%	3,112%
SBU	SBU01S8	25.453,1	24.078	1,194%	2,100%
SBU	SBU01S9	104.366,1	74.901	4,894%	6,532%

Fonte: Dados Coelce

Após foi analisado o critério de demanda dos alimentadores das subestações SBU e SBQ. Definindo-se a partir de vivência técnica dos profissionais da Coelce como critério operacional, a necessidade de realizar transferências de carga em situações de contingência, estipulando-se obter somente 70% da capacidade total da linha de distribuição. Assim foi analisado os alimentadores em relação ao critério de demanda, conforme ilustrado na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Dados de carga dos alimentadores da SE SBU

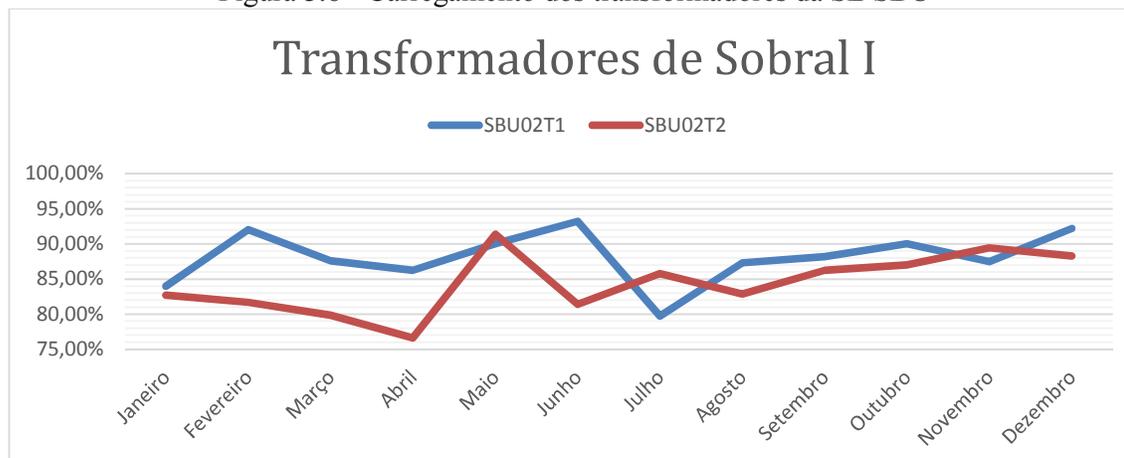
SBU	Patamares (A)			
	Madrugada	Manhã	Tarde	Noite
SBU01S1	208,65	255,83	319,53	255,83
SBU01S2	245,82	419,89	450,42	293,43
SBU01S3	181,28	195,61	213,87	184,34
SBU01S4	203,09	258,91	280,02	234,88
SBU01S5	178,88	179,24	229,35	229,13
SBU01S6	99,9	89,9	99,13	120,68
SBU01S7	141,87	159,81	200,36	177,21
SBU01S8	209,88	222,65	228,03	224,67
SBU01S9	349,03	401,41	413,23	414,81

Fonte: Dados de Rede Interplan

Verificou-se que alguns alimentadores que obtiveram altos valores de DEC e FEC também ultrapassaram ou tiveram valores próximos ao valor operacional de carga da linha de média tensão, sendo os principais alimentadores afetados serem o SBU01S1, SBU01S2, SBU01S3, SBU01S7, SBU01S8 e SBU01S9.

Logo após foi analisado a demanda de carga solicitada pelos transformadores das SE's SBU e SBQ, tendo como critério de demanda a capacidade máxima do transformador sem utilizar sua ventilação forçada, ou seja, sem ultrapassar sua capacidade. Foram obtidos então os gráficos das figuras 3.32 e 3.33.

Figura 3.8 - Carregamento dos transformadores da SE SBU



Fonte: Dados Coelce (PI DATALINK)

Figura 3.9 - Carregamento do transformador da SE SBQ

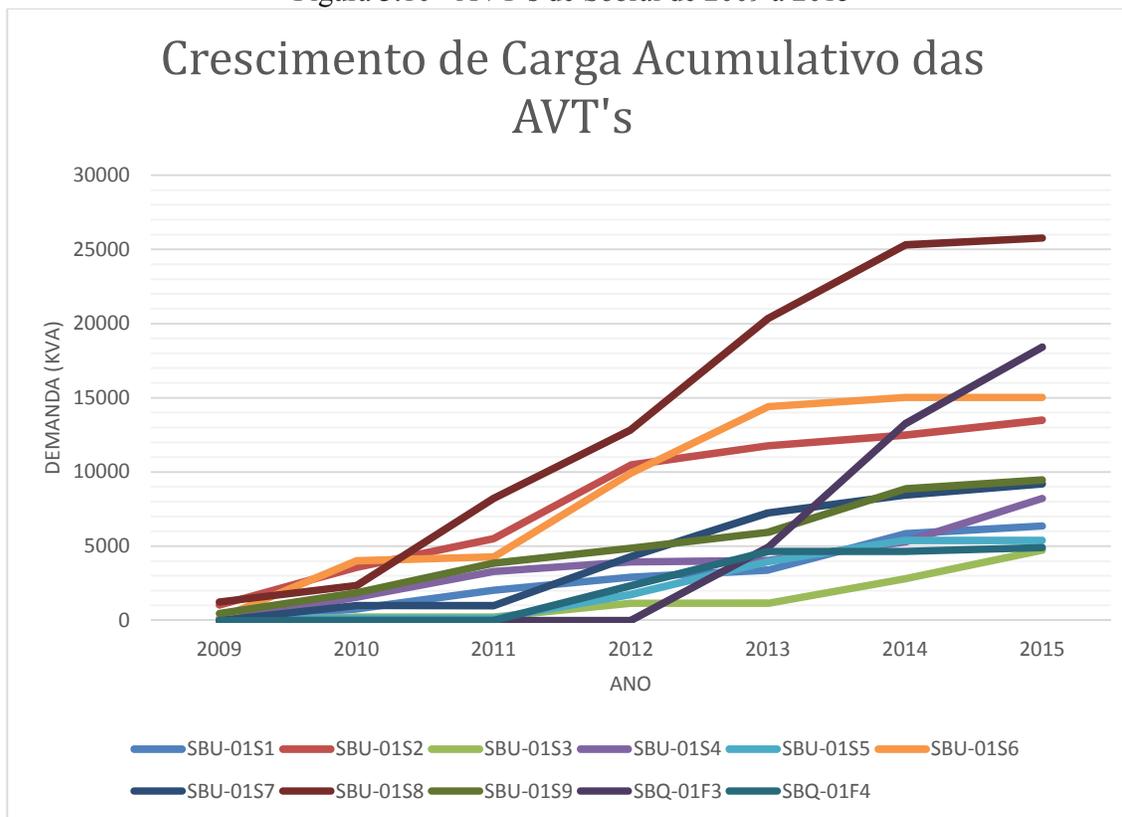


Fonte: Dados Coelce (PI DATALINK)

Pode-se analisar que a carga demandada pela SE SBU está próxima a capacidade máxima da SE, tornando-se necessária o monitoramento do crescimento de carga, e na SE SBQ a carga demanda está bem abaixo da capacidade do transformador, verificando-se a possibilidade de possíveis remanejamentos de carga.

Assim foi analisado os motivos das violações dos critérios estabelecidos na norma DCT-06. Primeiramente foi verificado o crescimento de carga nos alimentadores das subestações de Sobral, a partir das Análises de Viabilidades Técnicas (AVT's) das SE's SBU e SBQ. No gráfico da Figura 3.34 será ilustrado as AVT's da região de Sobral no período de 2009 a 2015 em um aspecto acumulativo de carga.

Figura 3.10 - AVT's de Sobral de 2009 a 2015



Fonte: Dados Coelce

Verificou-se que na figura 3.34 alguns dos alimentadores que possuíam alto crescimento acumulativo de carga também estavam relacionadas as violações dos critérios de demanda, tensão e continuidade, principalmente nos alimentadores SBU01S2, SBU01S7, SBU01S8, SBU01S9 e SBQ01F3. Posteriormente a análise das AVT's foi realizada a visualização geográfica destes alimentadores, verificando-se a extensão e os obstáculos naturais.

Em seguida foi analisado na SE SBU o alimentador SBU01S2 tem sua problemática relacionada a alta carga demandada devido se situar no centro do município de Sobral, contendo uma quantidade elevada de comércios. No alimentador SBU01S7 a problemática está relacionada a extensão e a desproporcionalidade das cargas nos trechos do alimentador. Os problemas nos alimentadores SBU01S8 e SBU01S9 estão relacionados com a alta carga demandada ocasionado pelo Distrito Industrial e o Rio Acaraú como obstáculo geográfico, dividindo a cidade em duas regiões. O alimentador SBU01S9 há ainda um segundo problema

relacionado a sua extensão. Na SE SBQ os problemas com o alimentador SBQ01F3 estão relacionados a extensão e a alta carga demandada nos trechos da região urbana.

Devido a quantidade de problemáticas foi analisado que as correções padrões especificadas na norma DCT-06 para os critérios de demanda, tensão e continuidade não seriam suficientes para obter uma solução efetiva dos defeitos contidos na rede de distribuição das SE's de Sobral. Assim, foi analisado que o procedimento para correção das violações dos critérios de planejamento seria a partir da construção de uma nova SE no município, localizada na região que possui mais problemas.

4 ANÁLISE DEFINIÇÃO DO TERRENO DA NOVA SE

Este capítulo apresenta a estrutura da SE, que foi determinada a partir do planejamento de crescimento de carga, como também os procedimentos para definição do local de uma subestação abaixadora de 69/13,8 kV. Primeiramente é realizada a análise do centro de carga da região desejada a partir dos alimentadores já existentes no local. Posteriormente é feita a análise de viabilidade técnica e econômica dos terrenos disponíveis a venda no mercado e do nivelamento e tratamento do solo para construção da SE. Verifica-se, ainda, a proximidade das linhas de alta tensão já existentes em relação ao terreno, e a disponibilidade de distribuição das novas linhas de média tensão da SE.

4.1 Estrutura da SE

Baseando-se no crescimento de carga na região do Distrito Industrial de Sobral, foi verificado na análise do plano diretor de desenvolvimento urbano do município (PDDU), que informa os incentivos fiscais às empresas que ocuparem esta região (PDDU SOBRAL, 1999). Assim foi analisado e definido pela Coelce a necessidade da construção de uma nova SE no local, de padrão grande porte, automatizada, com capacidade instalada inicial de um transformador 33,3 MVA e um segundo transformador de mesma capacidade após cinco anos da construção da SE, contendo seis linhas média tensão para a distribuição de carga na região.

4.2 Análise das alternativas de terreno para SE

A necessidade de uma nova subestação tem origem nos problemas de sobrecarga ocasionados na subestação Sobral I (SBU) em condição normal de operação, ou seja, sem ventilação forçada, esgotando a capacidade do sistema de média tensão, resultando na insuficiência de manobras de grandes blocos de carga entre as subestações SBU e SBQ. Outros problemas impossibilitam a ampliação da capacidade instalada, devido a limitações de espaço físico no entorno do terreno para saída de novas linhas de média tensão, bem como a sua distância do centro de carga em expansão na região do Distrito Industrial, localizada após o obstáculo natural do Rio Acaraú.

Devido a isto foi necessário analisar a aquisição de um terreno com localização otimizada, considerando os critérios técnicos de centro de carga e viabilidade de acesso das

linhas de distribuição de alta e média tensão, para construção da nova subestação do Distrito Industrial.

A região do Distrito Industrial de Sobral é atendida atualmente por quatro alimentadores da SE SBU, que são SBU01S1, SBU01S3, SBU01S8 e SBU01S9, conforme ilustrados na figura 4.1 pelas respectivas cores vermelho, preto, verde e azul.

Figura 4.1 - Disposição dos alimentadores da SE SBU



Fonte: Dados Coelce (Escala 1:500m)

Na figura 4.1 pode-se analisar as demarcações por polígonos em amarelo e vermelho ilustrando respectivamente as regiões de interesse e preferência para construção da nova subestação. Para a análise do terreno é verificada a concentração de carga na região do Distrito Industrial e a proximidade das linhas de alta tensão e média tensão.

A partir da região demarcada foi realizada a análise de mercado para os terrenos que estavam com disponibilidade de venda com dimensões que possibilitassem construir uma subestação de grande porte. Estipulou-se pelos responsáveis da obra da concessionária Coelce ser necessária uma área mínima de 10.000 m² para o local, logo obteve-se três opções de terreno, conforme ilustrado na figura 4.2.

Figura 4.2 - Opções de terreno na região do Distrito Industrial



Fonte: Dados Coelce (Escala 1:500m)

4.3 Análise de custo e benefício dos terrenos

Após a obtenção das alternativas disponíveis para compra que estavam dentro dos critérios para construção da subestação, foi realizado o estudo de custo do investimento, analisando o valor do terreno a ser comprado, o valor da construção da linha de alta tensão para alimentação da SE e o valor da construção das linhas de média tensão que irão derivar da SE.

Com isso foi analisada a alternativa 1 e verificou-se que a localização estava favorável para construção da linha de alta tensão necessitando somente de uma derivação das linhas já existentes próximas para a alimentação da SE. Posteriormente foi analisado a distribuição da rede de média tensão e verificou-se também ser favorável a construção, pois havia poucos obstáculos físicos para a sua interligação com a rede de média tensão já existente. Porém, sua região é susceptível a alagamentos devido a sua proximidade a um açude, impossibilitando financeiramente realizar o tratamento do solo, descartando sua viabilidade para o projeto.

Logo, foi analisado a alternativa 2, verificou-se que a distribuição da rede de média tensão era favorável, devido sua localização estar centralizada e próxima dos alimentadores já existentes. Posteriormente foi analisado a construção da rede de alta tensão verificando sua localização ser desfavorável, pois a linha está localizada posterior a BR-403, tornando-se inviável a interligação da subestação por motivos de segurança, devido ao tráfego constante de

automóveis com grandes dimensões. Logo, foi analisado o custo do terreno para analisar a viabilidade do investimento. Porém, o custo do terreno era superior as outras opções, mesmo tendo suas dimensões inferiores das demais alternativas, sendo assim descartada.

Por fim foi analisada a alternativa 3, e verificou-se sua localização favorável para a construção das linhas de alta tensão, necessitando somente de uma derivação das linhas já existentes próximas para a alimentação da SE. Posteriormente foi analisada a distribuição da rede de média tensão, verificando-se ser desfavorável, pois haviam vários obstáculos físicos para a sua interligação com a rede de média tensão já existente, logo foi analisado o custo e dimensões do terreno mostrando-se ser a alternativa com melhor viabilidade técnico e econômica em relação as demais alternativas, optando-se por sua escolha como localidade da subestação. Na Tabela 4.1 é ilustrado um resumo do descrito e os valores de custos de cada uma das alternativas avaliadas.

Tabela 4.1 - Resumo das alternativas avaliadas

Nº da Alternativa	Área (m²)	Valor do Terreno (MRS) (A)	Valor da Linha AT (MRS) (B)	Valor da Linha MT (MRS) (C)	Soma (A)+(B)+(C) (MRS)	Localização
1	-	-	-	-	-	Engenharia AT descartou terreno
2	10.000	6.500,00	450	950	7.900,00	Favorável MT
						Desfavorável AT
3	18.573	1.081,70	100	1.520,00	2701,7	Desfavorável MT
						Favorável AT

Fonte: Dados Coelce

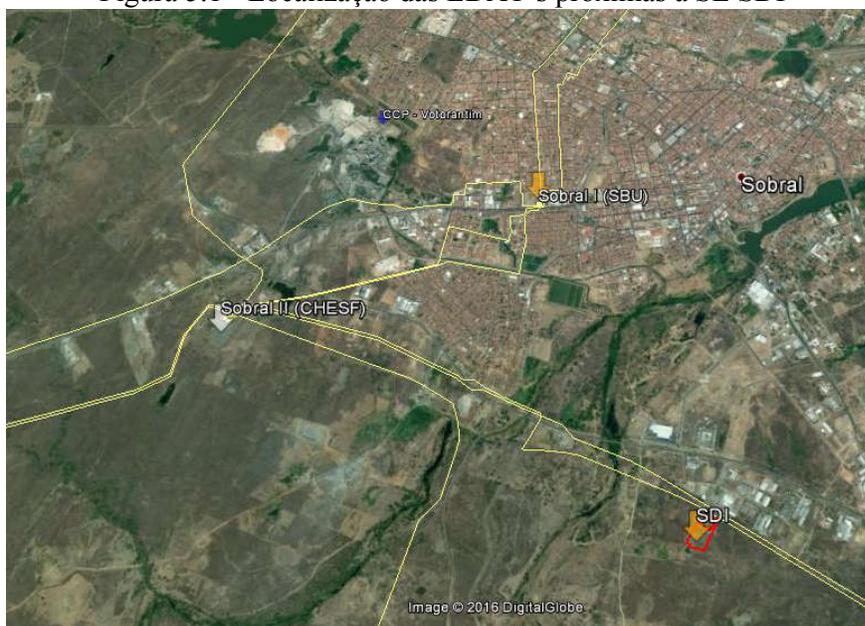
5 ESTUDO DE PLANEJAMENTO E CUSTOS DE REDE

Este capítulo apresenta o planejamento da rede de alta e média tensão necessários para interligação da Subestação do Distrito Industrial (SDI), realizados a partir do auxílio de aplicativos que realizam o fluxo de carga, que são o *Anarede*, para rede de alta tensão e o *Interplan*, para rede de média tensão. Estes aplicativos realizam a simulação das alterações necessárias na rede após o incremento e crescimento de cargas no sistema, como por exemplo, a ampliação e construção de novas linhas e subestações e a inserção de equipamentos de manobra e proteção da rede. Ilustra-se, ainda, os custos relacionados as alterações que serão realizadas nos aplicativo de planejamento, analisando o custo de investimento com a verba disponibilizada pela Companhia Energética do Ceará – COELCE.

5.1 Planejamento da rede de alta tensão

O planejamento da rede de alta tensão para a interligação da SE SDI foi realizado no aplicativo *Anarede*, mas primeiramente foi analisado a proximidade de uma subestação que possuía no secundário o nível de tensão em 69kV. Logo verificou-se a SE Sobral II (SBD) da CHESF da SE SDI, conforme ilustrado na Figura 5.1.

Figura 5.1 - Localização das LDAT's próximas a SE SDI



Fonte: Dados corporativos Coelce (Escala 1:500m)

As LDAT's da SE SBD são responsáveis pela alimentação das subestações de 69/13,8 kV do regional norte do Ceará. A partir disto foi analisado as LDAT's que estavam próximas ao terreno que será implementado a subestação SDI, e verificou-se a proximidade das LDAT's 02J1, 02J2 e 02J8.

Após a análise geográfica verificou-se os dados de capacidade nominal e o carregamento máximo no ano de 2015 das LDAT's em condições normais de operação, conforme ilustrado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Dados das LDAT's da Subestação SBD

Linhas	Condutor (mm ²)	Subestação 1	Subestação 1	Linha	Capacidade Nominal (A)	Média do Carregamento Máximo de 2015 (A)
02J1-SBD/CRE	266,8	SBD	CRE	02J1	301	241,19
02J2-SBD/CRC	266,8	SBD	CRC	02J2	301	169,71
02J3-SBD/SBU	315	SBD	SBU	02J3	661	397,79
02J4-SBD/SBU	315	SBD	SBU	02J4	661	381,32
02J5-SBD/MSP	266,8	SBD	MSP	02J5	301	234,74
02J6-SBD/CRE	266,8	SBD	CRE	02J6	301	226,91
02J7-SBD/CRE	266,8	SBD	CRE	02J7	301	217,51
02J8-SBD/CRC	266,8	SBD	CRC	02J8	301	163,34

Fonte: Dados da Coelce

A partir dos dados de carga verificou-se a capacidade das LDAT's 02J2 e 02J8, sentido Sobral (SBD) à Caracará (CRC), de assumir inicialmente a SE SDI, visto que foi planejado nos primeiros anos não utilizar a capacidade nominal da subestação, que está planejada para utilizar menos do que 70% do transformador de potência de 33 MVA. Conforme baseado na análise dos dados de carga, foi verificado a capacidade das LDAT's nas equações a seguir.

$$I_{transformador_{inicial}} = \frac{S_{nominal}}{\sqrt{3} * V_{nominal}} * 70\% \quad (01)$$

$$I_{transformador_{inicial}} = \frac{33 * 10^6}{\sqrt{3} * 69 * 10^3} * 0,7 \quad (02)$$

$$I_{transformador_{inicial}} = 276,2 * 0,7 = 193,34 A \quad (03)$$

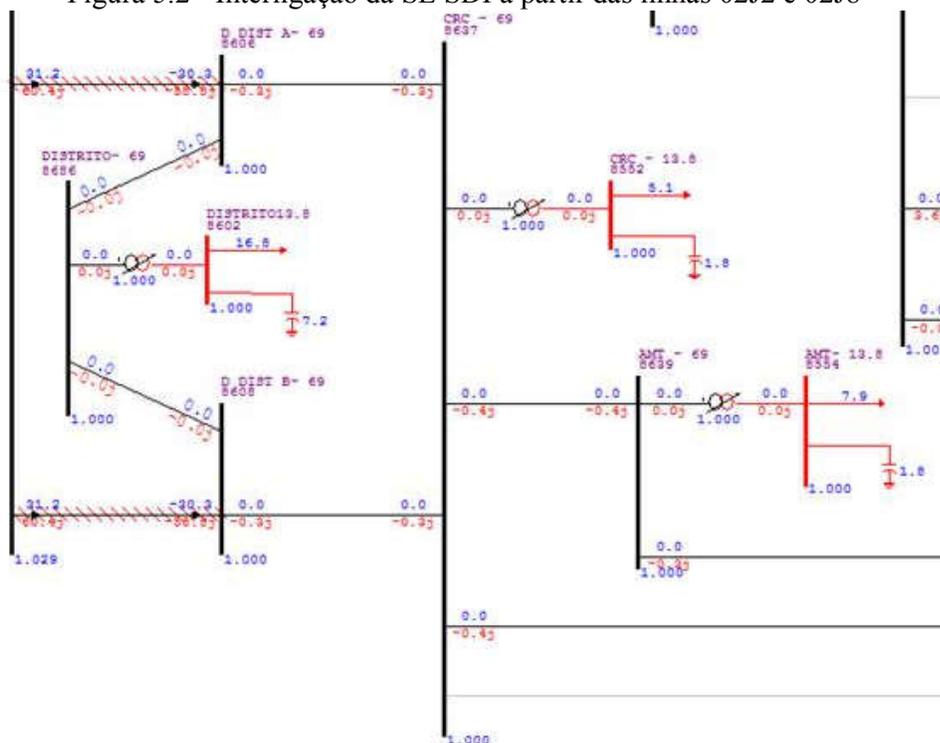
$$I_{linhas} = (I_{cap\ 02J2} + I_{cap\ 02J8}) - (I_{carga\ 02J2} + I_{carga\ 02J8}) \quad (04)$$

$$I_{linhas} = 268,95 A \quad (05)$$

$$I_{linhas} > I_{transformador_{inicial}} \quad (06)$$

Posteriormente foi simulado no aplicativo ANAREDE a situação analisada, e verificou-se a viabilidade técnica da proposta. Conforme ilustrado na figura 5.2.

Figura 5.2 - Interligação da SE SDI a partir das linhas 02J2 e 02J8

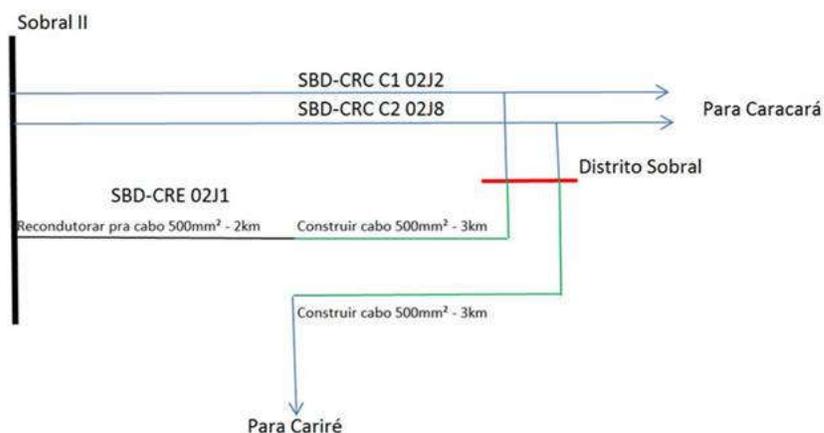


Fonte: Dados do aplicativo ANAREDE

Inicialmente a interligação somente pelas linhas 02J2 e 02J8 são capazes de suprir a carga demandada pela SE SDI, porém após dois anos de operação da SE, ano de 2018, verificou-se a partir de simulação no aplicativo ANAREDE a inviabilidade técnica de continuar a alimentação da SE SDI somente por estas LDAT's. Devido a incapacidade de utilizar a carga nominal do transformador de força de 33 MVA planejado, a redução da maleabilidade das LDAT's em realizar transferências de cargas e da análise do crescimento vegetativo das outras subestações alimentadas por estas linhas. Logo impossibilitando a alimentação da SE SDI somente por estas LDAT's.

Verificou-se então a proximidade de outras LDAT's da SE SDI, sendo uma das opções a linha 02J1 de sentido Sobral (SBD) à Cariré (CRE), porém foi analisado que a capacidade desta linha conforme a tabela 5.1 está próxima da carga nominal, devido a limitação técnica do condutor. Assim realizou-se a análise da viabilidade técnica e econômica do recondutoramento desta LDAT de 266,8 mm² para 500 mm², possibilitando a SE SDI utilizar a carga nominal dos dois transformadores de força que estão planejados, sendo o segundo planejado para o após cinco da construção da subestação. Logo a SE SDI seria interligada por 3 LDAT's conforme ilustrado na figura 5.3.

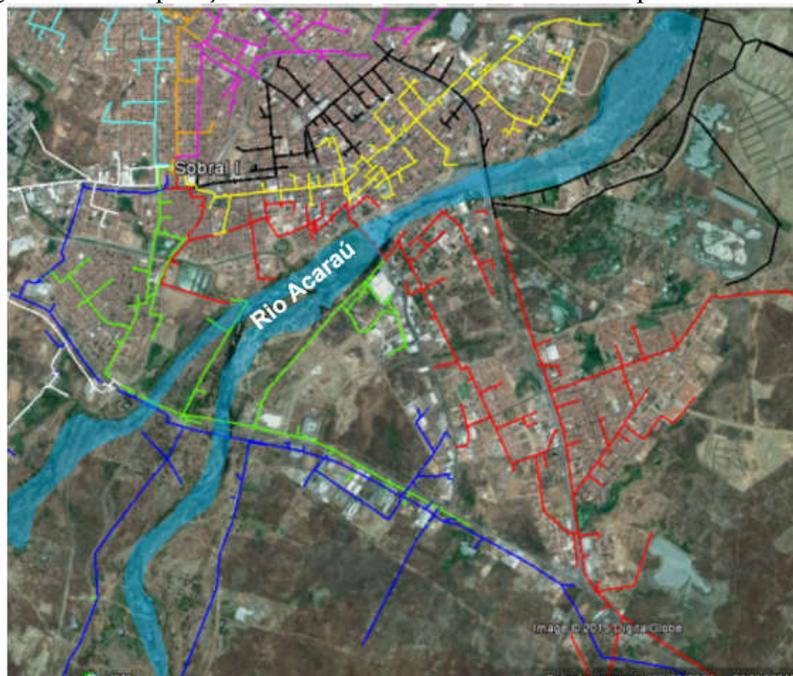
Figura 5.3 - Obra a ser realizada para a interligação da LDAT 02J1 da SE SBD



Fonte: Dados corporativos da Coelce

Analisou-se a partir de simulações no aplicativo ANAREDE a viabilidade técnica da proposta de recondutoramento da LDAT 02J1, com a configuração de rede de alta tensão após a inserção da subestação SDI ilustrado na figura 5.4.

Figura 5.5 - Disposição dos alimentadores da SE SBU após o Rio Acaraú



Fonte: Dados Coelce no Google Earth (Escala 1:500m)

Baseando-se na localização geográfica dos alimentadores da figura 5.5, foi efetuado um estudo de transferência de carga para os alimentadores da subestação SDI. Assim foi subdividido os alimentadores de acordo com o tipo de carga, a demanda solicitada da região e na análise da qualidade do fornecimento de energia, fundamentando-se nos critérios de planejamento.

Analisada a transferência de carga dos alimentadores SBU01S1 e SBU01S3, verificou-se que corresponde uma região com alta densidade de carga residencial e rural e de grande extensão, conforme ilustrado na tabela 5.2 a quantidade de consumidores por tipo de consumidor.

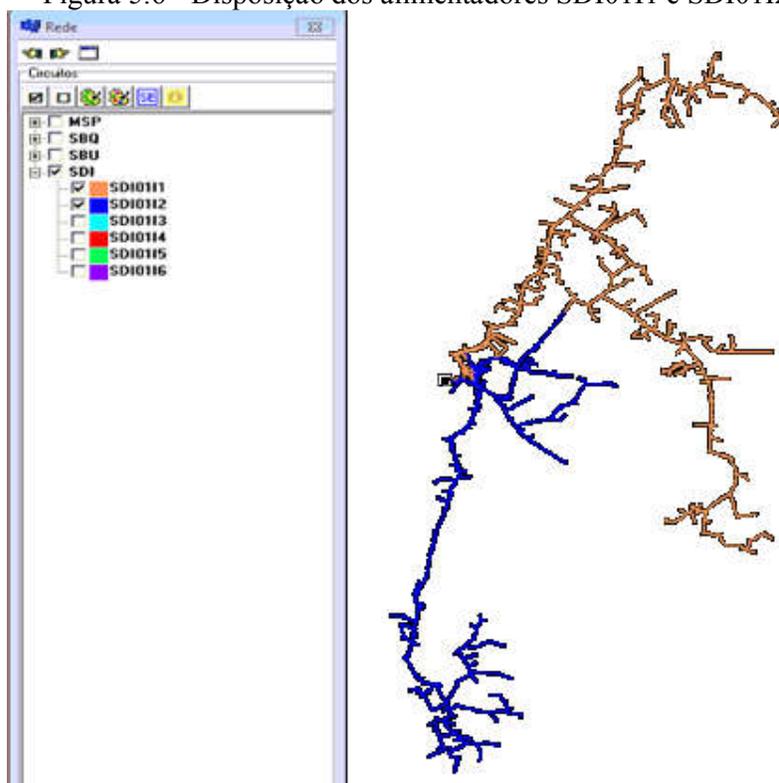
Tabela 5.2 - Consumidores dos alimentadores SBU01S1 e SBU01S3 após o Rio Acaraú

Tipo de consumidor	Quantidade de consumidores
Residencial	3003
Comercial	118
Industrial	4
Rural	979
Outros	96
Total	4200

Fonte: Dados de Rede do Interplan

Logo foi investigado a utilização de dois alimentadores para interligar estas cargas, utilizando os alimentadores SDI0111 e SDI0112. Na figura 5.6 está ilustrada a distribuição de carga realizada.

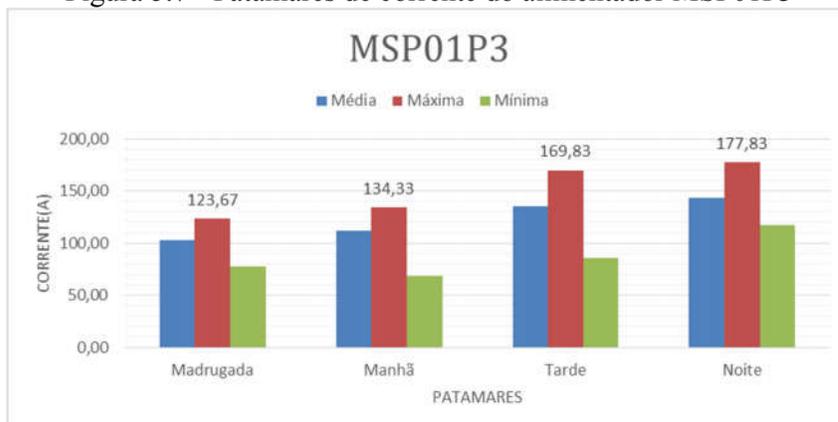
Figura 5.6 - Disposição dos alimentadores SDI0111 e SDI0112



Fonte: Dados de Rede do Interplan

A partir a figura 5.6 foi constatado que os alimentadores possuíam grande extensão, porém somente poderia se realizar transferência no alimentador SDI0111, devido suas cargas serem predominante rurais. A demanda solicitada por esta carga é pequena tornando-se fácil o seu remanejamento. Assim, foi realizada a transferência de cargas rurais do município de Santana do Acaraú, que se localiza nos trechos finais do alimentador, com a finalidade de reduzir sua extensão a partir de um encontro já existente com o alimentador MSP01P3. Logo, foi analisado o patamar de demanda do alimentador, conforme ilustrado no gráfico da figura 5.7.

Figura 5.7 - Patamares de corrente do alimentador MSP01P3



Fonte: Dados do PI SYSTEM

Averiguou-se que a carga demandada pelo alimentador MSP01P3 é maior no período da noite, tendo demanda máxima em regime nominal, ou seja, sem contingência, de aproximadamente 175 A. Como também sua linha principal do alimentador em condutor 1/0 CAA que tem capacidade de carregamento de 248 A, determinando desta forma a possibilidade de realizar o remanejamento de carga, pois o trecho a ser transferido tem capacidade de 1,74 A no patamar da tarde conforme ilustrado na tabela 5.3.

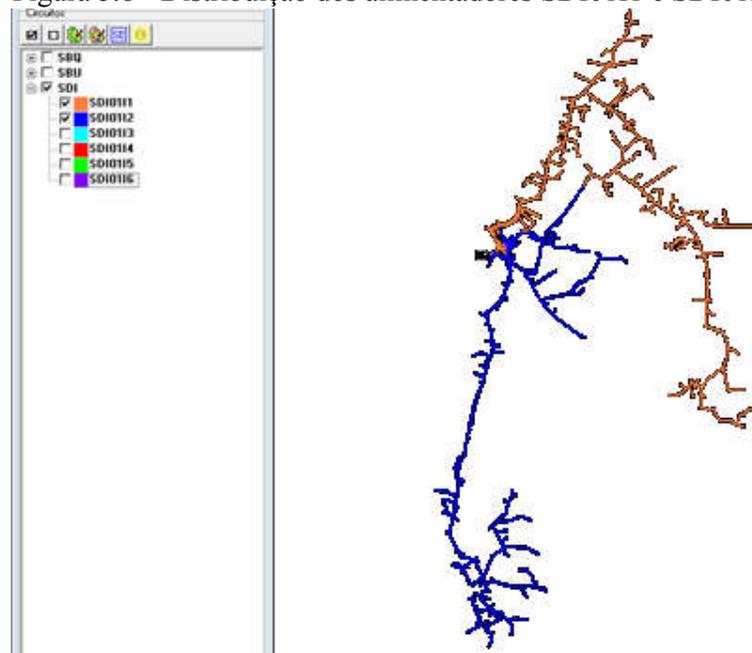
Tabela 5.3 - Dados do trecho a ser transferido para MSP01P3

ANO	Patamares	Transferência SDI0111 e MSP01P3
2016	Madrugada	1,33
	Manhã	1,39
	Tarde	1,74
	Noite	1,57

Fonte: Dados de Rede do Interplan

Após a transferência, os alimentadores SDI0111 e SDI0112 estarão distribuídos de conforme a figura 5.8.

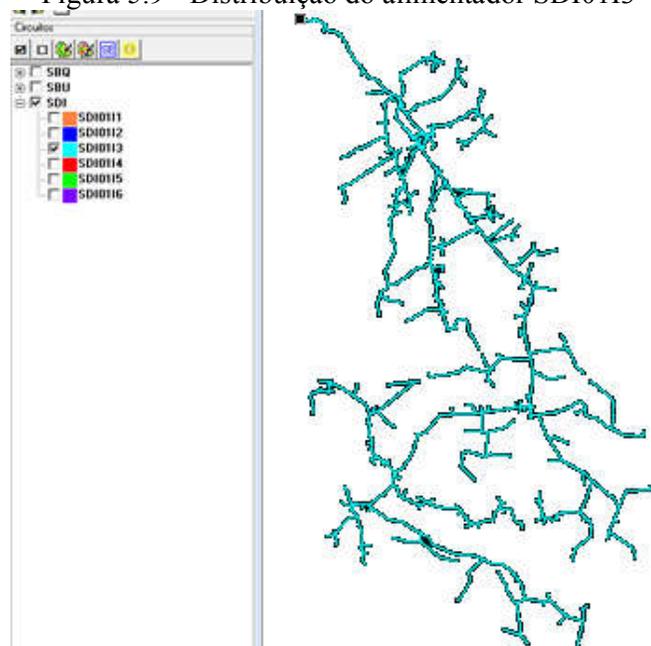
Figura 5.8 - Distribuição dos alimentadores SDI0111 e SDI0112



Fonte: Dados de Rede do Interplan

Em seguida foi analisado a transferência de carga da região após o Distrito Industrial referenciado ao alimentador SBU01S9 com o alimentador SDI0113. Conforme ilustrado na figura 5.9 o trecho transferido.

Figura 5.9 - Distribuição do alimentador SDI0113



Fonte: Dados de Rede do Interplan

Como apurado na figura 5.9, verificou-se que alimentador SDI01I3 possui uma grande extensão ocasionado pela alimentação de cargas rurais do município de Santa Quitéria.

Devido a isto foi observado a necessidade de realizar transferências de carga para reduzir o seu tamanho analisando a possibilidade de transferência para dois alimentadores da própria região de Santa Quitéria, que são o SQT01F3 e o SQT01F4.

Mas primeiramente deveria ser analisada a carga demandada dos trechos que irão ser transferidos para estes alimentadores, conforme os dados ilustrados na tabela 5.4.

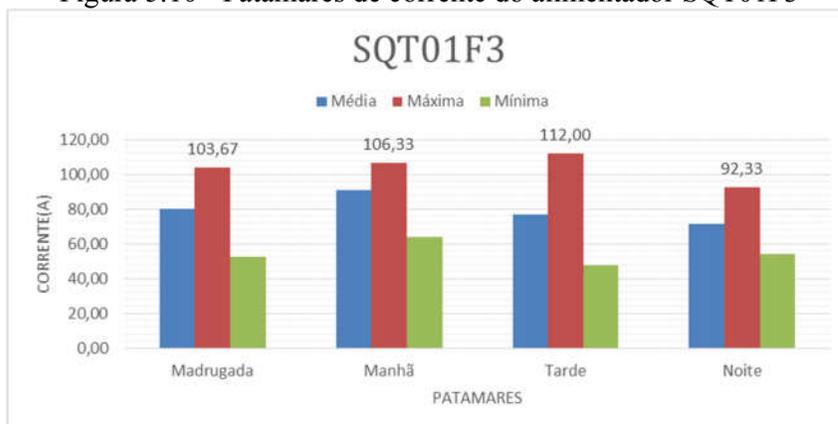
Tabela 5.4 - Dados do trecho a ser transferido para SQT01F3 e SQT01F4

ANO	Patamares	SDI01I3	
		SQT01F3	SQT01F4
2016	Madrugada	1,04	1,62
	Manhã	1,28	2,71
	Tarde	1,37	2,75
	Noite	1,77	2,86

Fonte: Dados de Rede do Interplan

De acordo com tabela 5.4 pode-se analisar que a carga transferida para subestação SQT não irá saturar o transformador, pois demandará uma carga de pequena proporção. Desta forma foi checado a transferência de carga entre o alimentador SDI01I3 e SQT01F3, analisando o patamar de carga do alimentador, conforme ilustrado no gráfico da figura 5.10.

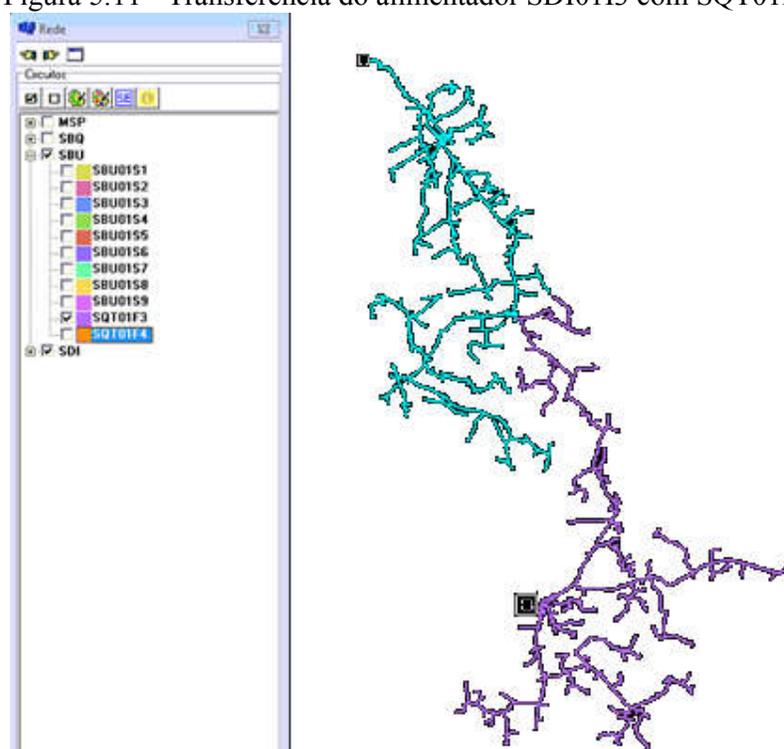
Figura 5.10 - Patamares de corrente do alimentador SQT01F3



Fonte: Dados do PI SYSTEM

Considera-se que a carga demandada pelo alimentador SQT01F3 é maior no período da tarde, tendo demanda máxima em regime nominal, ou seja, sem contingência, de aproximadamente 110 A. Como também a linha principal do alimentador em condutor 1/0 CAA tem capacidade de carregamento de 248 A, assim observou-se a possibilidade do remanejamento de carga do trecho desejado ilustrado na figura 5.11.

Figura 5.11 - Transferência do alimentador SDI01I3 com SQT01F3

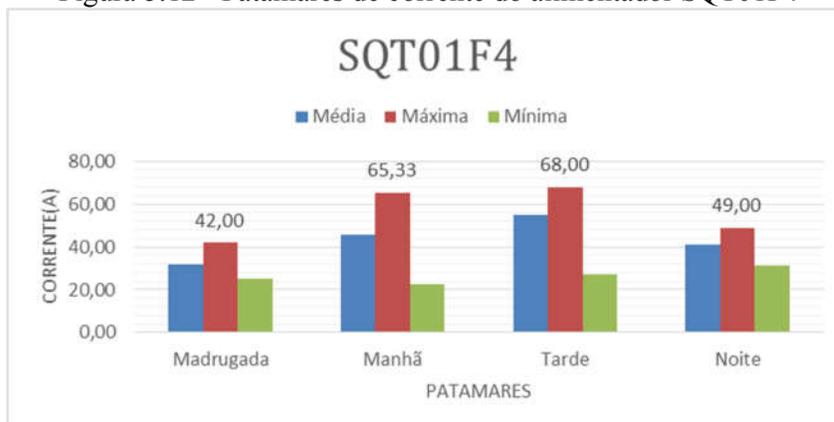


Fonte: Dados de Rede do Interplan

Verificou-se em seguida a transferência de carga entre o alimentador SDI01I3 e SQT01F4, analisando o patamar de demanda deste alimentador conforme ilustrado no gráfico da figura 5.12.

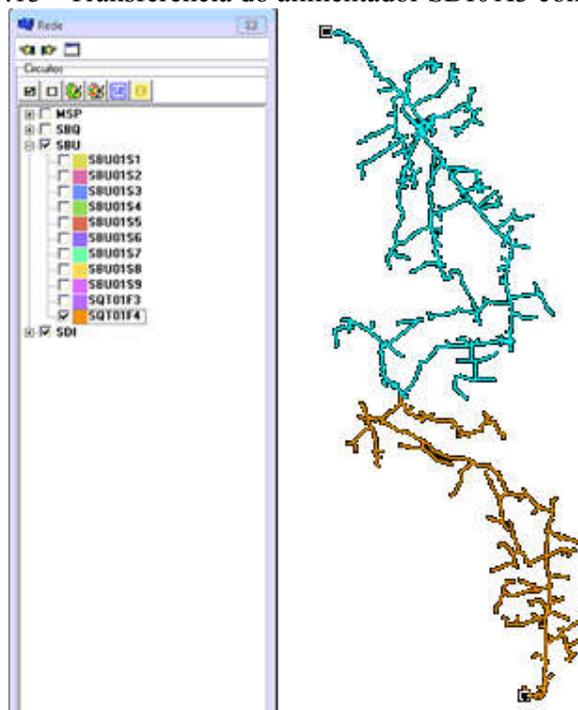
Analisou-se que a carga demandada pelo alimentador SQT01F4 é maior no período da tarde, tendo demanda máxima em regime nominal, ou seja, sem contingência, de aproximadamente 70 A. Como também a linha principal do alimentador, em condutor 1/0 CAA que tem capacidade de carregamento de 248 A, assim verificou-se a possibilidade do remanejamento de carga entre os alimentadores como ilustrado na figura 5.13.

Figura 5.12 - Patamares de corrente do alimentador SQT01F4



Fonte: Dados do PI SYSTEM

Figura 5.13 - Transferência do alimentador SDI01I3 com SQT01F4



Fonte: Dados de Rede do Interplan

Após esta transferência, foi realizada a distribuição das cargas rurais do alimentador SBU01S9 para o alimentador SDI01I4. Mas, analisou-se que a carga demandada pelos ramais rurais era pequena na base de 40 A, conforme ilustrado na tabela 5.5. Assim observou-se os alimentadores que possuíam encontros com o trecho selecionado para transferência. Logo,

obteve-se a possibilidade de conexão de um trecho rural do alimentador SBU01S7 ao alimentador SDI01I4, conforme ilustrado na tabela 5.5 a carga demandada pelo trecho.

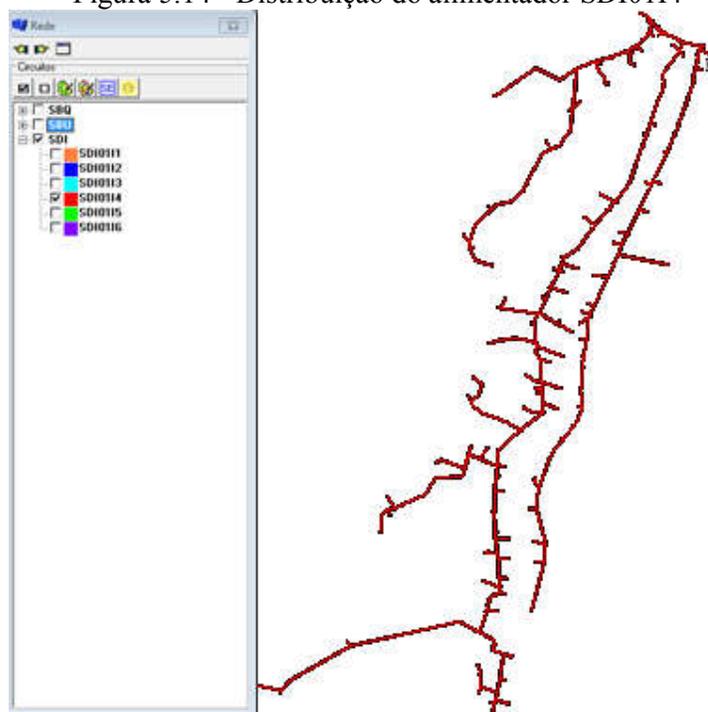
Tabela 5.5 - Carregamento do trecho do alimentador SBU01S7

ANO	Patamares (A)	TRECHO DO SBU01S7	SDI01I4
2016	Madrugada	27,15	34,18
	Manhã	37,2	36,78
	Tarde	38,91	37,58
	Noite	37,64	40,76

Fonte: Dados de Rede do Interplan

Assim foi realizada na sequência a transferência do trecho do alimentador SBU01S7 ao SDI01I4, conforme ilustrado na figura 5.14 o alimentador SDI01I4.

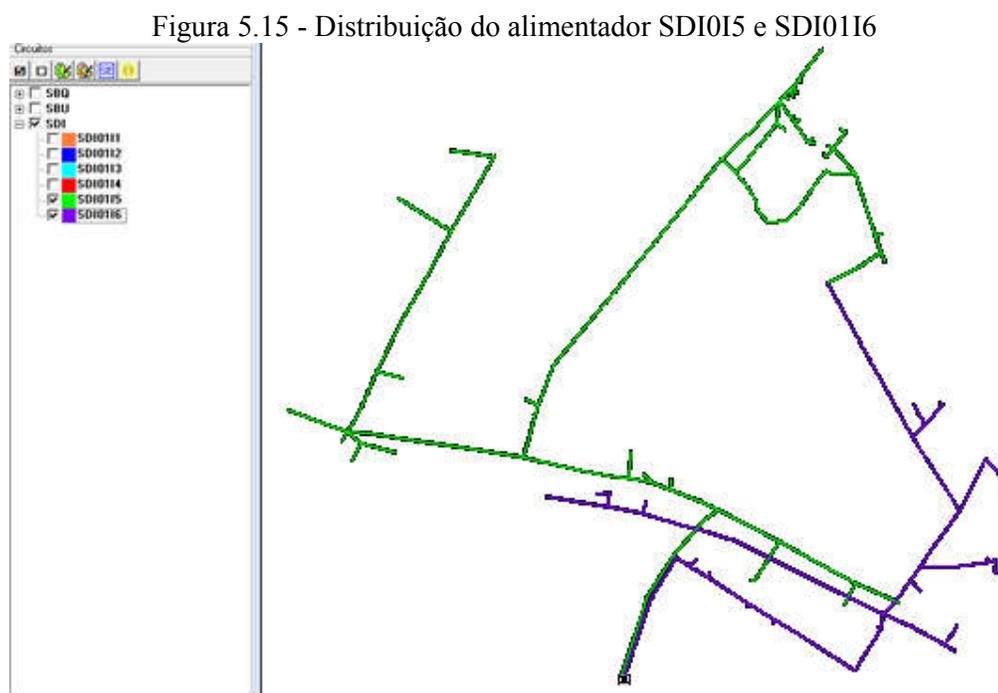
Figura 5.14 - Distribuição do alimentador SDI01I4



Fonte: Dados de Rede do Interplan

Examinando subsequentemente, a distribuição das cargas na região central do Distrito Industrial do município que atualmente é realizada a partir dos alimentadores SBU01S8 e SBU01S9, foi definido a construção de um arranjo em anel aberto a partir de duas linhas

necessitando-se construir um trecho 750 m de cabo 266 CAA para interligar os alimentadores SDI01I5 e SDI01I6, conforme ilustrado na figura 5.15. Tal configuração de rede foi realizada devido a demanda de carga solicitada pela região ser alta, necessitando-se obter uma alta confiabilidade da região.

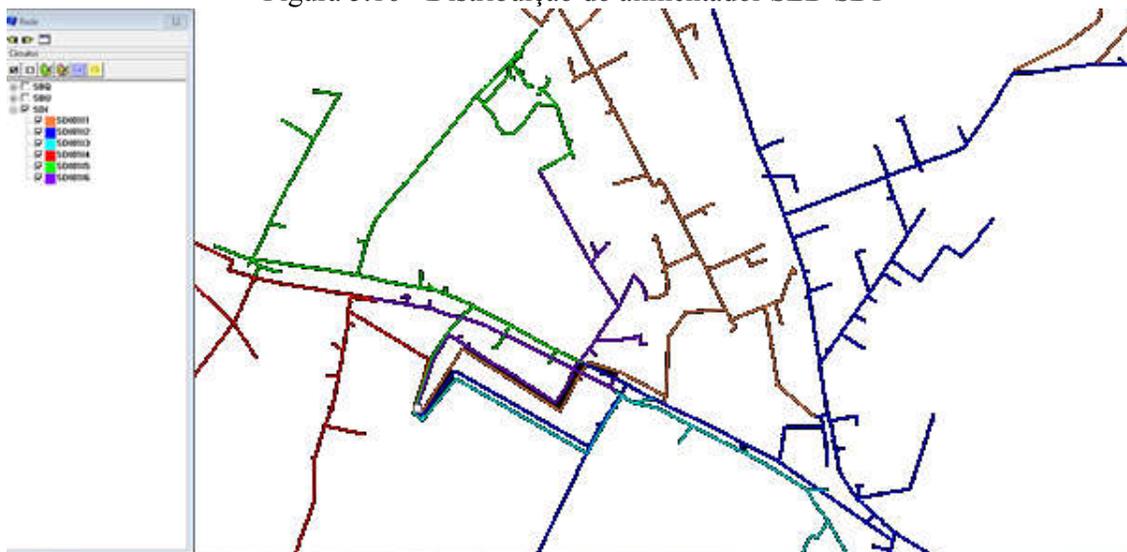


Fonte: Dados de Rede do Interplan

Finalizando-se as transferências de cargas foi estudada a topologia de rede dos alimentadores da SE, e verificou-se que com a distribuição dos alimentadores foi dividida a relação entre as cargas industriais e as cargas comerciais e residenciais, conforme ilustrado na figura 5.16.

Logo após foi analisado os parâmetros de carga da SE SDI no ano de 2016, e no último ano de estudo, 2020. A partir da distribuição de carga ilustrada na figura 5.16 foi investigada a carga demandada nos alimentadores da SE SDI, e obtido um balanceamento satisfatório de carga entre os alimentadores, conforme ilustrado na tabela 5.6.

Figura 5.16 - Distribuição do alimentador SED SDI



Fonte: Dados de Rede do Interplan

Tabela 5.6 - Carregamento dos alimentadores da SED SDI

ANO	SDI	Patamares (A)			
		Madrugada	Manhã	Tarde	Noite
2016	SDI0111	133,77	146,46	163,44	145,26
	SDI0112	142,99	170,29	208,83	171,94
	SDI0113	169,48	201,04	208,39	209,23
	SDI0114	63,7	76,83	79,44	81,42
	SDI0115	128,58	134,02	133,79	121,28
	SDI0116	100,83	103,13	102,94	101,65
2020	SDI0111	151,14	166,38	186,89	164,91
	SDI0112	172,4	204,74	248,32	207,78
	SDI0113	205,13	246,67	256,66	256,84
	SDI0114	77,37	93,29	96,46	98,87
	SDI0115	153,3	159,89	159,62	144,43
	SDI0116	117,15	119,94	119,7	118,15

Fonte: Dados de Rede do Interplan

Também foi observado a carga demandada no transformador de potência da SE SDI, e obteve-se uma margem de carga favorável para o crescimento de carga na região que está em ascensão, conforme ilustrado na tabela 5.7 os valores de carga.

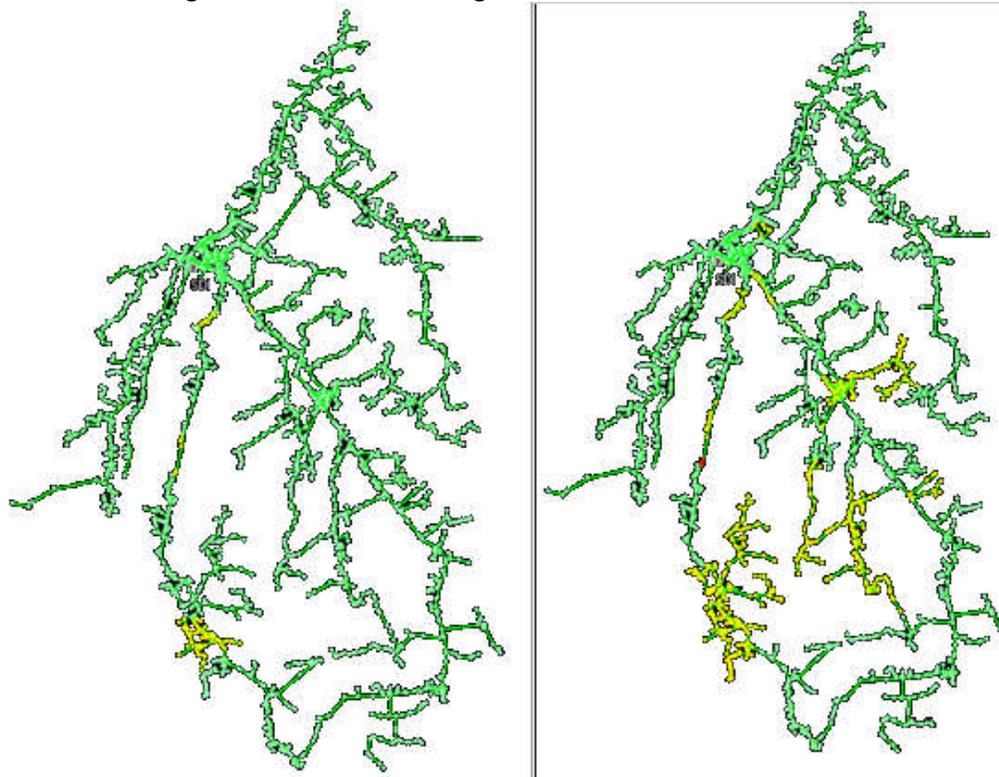
Tabela 5.7 - Carregamento do transformador da SED SDI

ANO	Patamares	SDI02T1		
		Potência Aparente (S)	S/Snom(%)	FP
2016	Madrugada	17.661,97	53,58	0,97
	Manhã	19.873,52	60,25	0,97
	Tarde	21.440,95	65,01	0,96
	Noite	19.844,96	60,16	0,97
2020	Madrugada	20.939,21	63,48	0,96
	Manhã	23.696,18	71,81	0,96
	Tarde	25.503,12	77,31	0,96
	Noite	23.694,58	71,82	0,96

Fonte: Dados de Rede do Interplan

Averiguando-se o critério de demanda nos alimentadores e no transformador de potência da SE SDI, constatou-se que estavam dentro dos critérios estabelecidos nas normas da concessionária. Sendo realizada a partir do aplicativo *Interplan* no módulo de visualização do fluxo de potência nos trechos dos alimentadores, obtendo-se a figura 5.17.

Figura 5.17 - Fluxo de carga dos alimentadores da SED SDI



Fonte: Dados de Rede do Interplan

Para obter-se o fluxo de carga na SE ilustrado na figura 5.17 foi necessário realizar o recondutoramento das linhas de média tensão em alguns trechos na região próxima a SE. Conseqüentemente foi analisada os critérios de tensão utilizando o módulo *Interplan Explorer* do aplicativo *Interplan*, sendo visto a necessidade de inclusão e realocação de bancos de capacitores e bancos reguladores de tensão em alguns trechos, pois possuíam baixos níveis de fator de potência e de tensão. Após a transferência de carga foi analisado a necessidade de somente a realocar os bancos reguladores de tensão para trechos mais distantes do que os anteriormente localizados. Sendo realizados as seguintes alterações nos reguladores de tensão, que são a realocação de dois deltas abertos de 100 A e dois deltas fechados de 200 A, o fechamento de dois deltas abertos de 100 A e retirados dois deltas fechados de 200 A e um delta aberto de 100 A dos alimentadores. A alocação de bancos de capacitores foi realizada nos trechos que tinham demandas de carga concentrada ou altas, sendo ocasionadas pela inclusão das AVT's no sistema, realizados a alocação de cinco bancos de capacitores de 300 KVAR.

Posteriormente foi pesquisado o critério de continuidade entre os alimentadores, como não possuímos o DEC e FEC dos alimentadores a partir da simulação, estes dados não poderiam ser analisados devido a incoerência no aplicativo *Interplan*, logo foi empregado uma análise qualitativa destes indicadores, considerando que após as transferências de cargas, a distribuição dos alimentadores e transformadores da SE, a subdivisão das cargas industriais e comerciais, o recondutoramento dos trechos, e a alocação de equipamentos de correção de rede, logo resultando em uma melhora significativa em relação ao que obtinha anteriormente do sistema da SE SDI.

5.3 Distribuição dos alimentadores da SE SBU e SBQ após transferência de carga

5.3.1 Distribuição dos alimentadores da SE SBQ

Após as transferências realizadas na SE SDI foi analisado a subestação SBQ, devido a proximidade da SE SBU e por obter obras planejadas dentro do período de estudo de médio prazo. Uma das alterações que serão realizadas na SE SBQ será a transferência de carga entre os alimentadores SBU01S6, SBU01S7 e SBQ01F4. Devido a sobrecarga e a extensão do alimentador SBU01S7, necessitou-se analisar a possibilidade de transferência de carga com o alimentador SBQ01F4 que possui pouca carga demandada, como não havia encontros entre os alimentadores foi realizado a transferência a partir do alimentador SBU01S6 que possui

encontro com ambas as linhas. Conforme ilustrado na figura 5.18 a transferência entre os alimentadores.

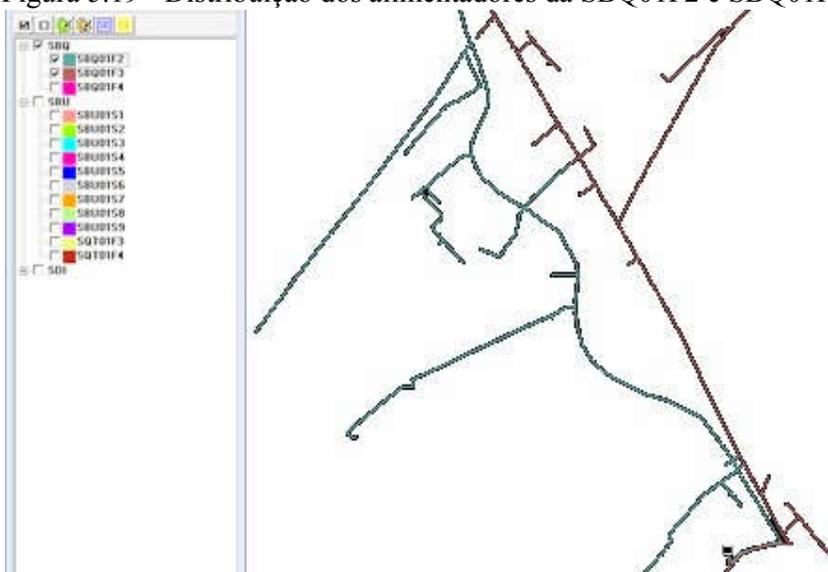
Figura 5.18 - Distribuição dos alimentadores da SBU01S6, SBU01S7 e SBQ01F4



Fonte: Dados de Rede do Interplan

Em seguida foi estudado a obra planejada da inclusão de um novo alimentador na SE, o SBQ01F2, tendo como finalidade reduzir o acúmulo de carga no início do alimentador SBQ01F3 assumindo as cargas dos blocos habitacionais que existem nas linhas, dispondo-o conforme a figura 5.19.

Figura 5.19 - Distribuição dos alimentadores da SBQ01F2 e SBQ01F3



Fonte: Dados de Rede do Interplan

Com a seguinte divisão de carga entre os dois alimentadores, irá obter uma redução no índice de continuidade de serviço e redução na queda de tensão no alimentador SBQ01F3. A partir das alterações realizadas a demanda de carga nos alimentadores da SE SBQ estarem conforme ilustrada na tabela 5.8.

Tabela 5.8 - Carregamento dos alimentadores da SED SBQ

ANO	SBQ	Patamares (A)			
		Madrugada	Manhã	Tarde	Noite
2016	SBQ01F2	61,46	63,94	64,91	67,03
	SBQ01F3	63,59	84,56	90,19	109,01
	SBQ01F4	165,65	181,12	186,99	200,76
2020	SBQ01F2	67,51	70,5	71,66	74,22
	SBQ01F3	75,74	101,44	108,25	132,45
	SBQ01F4	200,57	219,27	226,36	242,97

Fonte: Dados de Rede do Interplan

Observou-se também a carga demandada no transformador de potência da SE SBQ conforme ilustrado na tabela 5.9. Salientando-se que a devida transferência entre os alimentadores SBQ01F4, SBU01S7 e SBU01S6 ser realizada somente após a troca do transformador da subestação por outro com capacidade de 15 MVA, que está planejado para ser realizada no ano de 2016.

Tabela 5.9 - Carregamento do transformador da SED SBQ

ANO	Patamares	SBQ02T1		
		Potência Aparente (S)	S/Snom(%)	FP
2016	Madrugada	6.943,44	0,46	0,95
	Manhã	7.872,02	0,52	0,94
	Tarde	8.171,00	0,54	0,94
	Noite	9.011,84	0,60	0,94
2020	Madrugada	8.215,83	0,55	0,94
	Manhã	9.348,27	0,62	0,94
	Tarde	9.716,15	0,65	0,94
	Noite	10.774,85	0,72	0,94

Fonte: Dados de Rede do Interplan

5.3.2 Distribuição dos alimentadores da SE SBU

Devido as transferências de carga ocasionadas nos alimentadores SBU01S1, SBU01S3, SBU01S7, SBU01S8 e SBU01S9 para SE SDI, foi necessário realizar a redistribuição das linhas de média tensão da SE SBU. Desta forma foi averiguado os patamares de carga dos transformadores de potência da SE SBU, sendo eles SBU02T1 e SBU02T2, conforme ilustrado na tabela 5.10.

Tabela 5.10 - Carregamento dos transformadores da SE SBU após transferência para SDI

Patamares	SBU02T1			SBU02T2		
	Potência Aparente (S)	S/Snom(%)	FP	Potência Aparente (S)	S/Snom(%)	FP
Madrugada	13173,1	66,04	0,940	9894,3	49,47	0,917
Manhã	19057,9	95,42	0,931	10016,2	50,08	0,917
Tarde	20887,5	104,55	0,929	12408,3	62,04	0,915
Noite	15046,0	75,37	0,936	12405,5	62,03	0,916

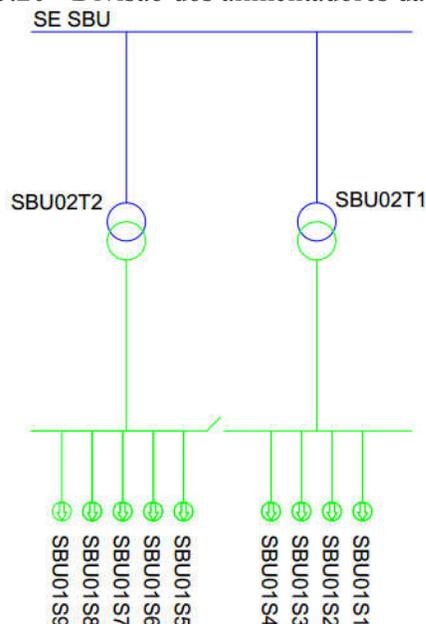
Fonte: Dados da Coelce

Observando os dados contidos na tabela 5.10 foi verificado que há um desbalanceamento de carga entre os dois transformadores da SE SBU, sendo o transformador de força SBU02T1 estar com valores altos de carga, tendo o valor acima do nominal durante o patamar da tarde e o transformador de força SBU02T2 estar com valores baixos, em torno 62% do seu valor nominal.

Desta forma se for mantida esta distribuição de carga, irá resultar em vários problemas no sistema de distribuição, como por exemplo, baixos níveis de tensão e fator de potência nos alimentadores, saturação do barramento da subestação e diminuição da confiabilidade da SE. Logo foi realizada a distribuição de carga da SE SBU a partir dos seus alimentadores, conforme ilustrado na figura 5.20.

De acordo com figura 5.20 verificou-se a divisão dos alimentadores, analisando-se que a sobrecarga no transformador de força SBU02T1 está relacionada aos alimentadores de seu barramento, sendo eles SBU01S1, SBU01S2, SBU01S3 e SBU01S4. Com isto verificou-se os patamares de carga dos alimentadores da SE SBU, conforme ilustrados na tabela 5.11.

Figura 5.20 - Divisão dos alimentadores da SE SBU



Fonte: Dados Elaborados pelo autor

Tabela 5.11 - Patamares de carga da SE SBU após transferência de carga

Conjunto	Alimentador	Patamares de corrente (A)			
		Madrugada	Manhã	Tarde	Noite
SBU	SBU01S1	44,4	53,94	66,18	53,45
SBU	SBU01S2	245,82	419,89	450,42	293,43
SBU	SBU01S3	159,34	215,27	241,5	159,64
SBU	SBU01S4	103,05	109,35	116,68	124,14
SBU	SBU01S5	178,88	179,24	229,35	229,13
SBU	SBU01S6	72,09	74,05	79,38	91,53
SBU	SBU01S7	153,59	182,88	225,18	201,03
SBU	SBU01S8	30,67	36,41	41,01	51,76
SBU	SBU01S9	35,93	35,93	35,93	35,93

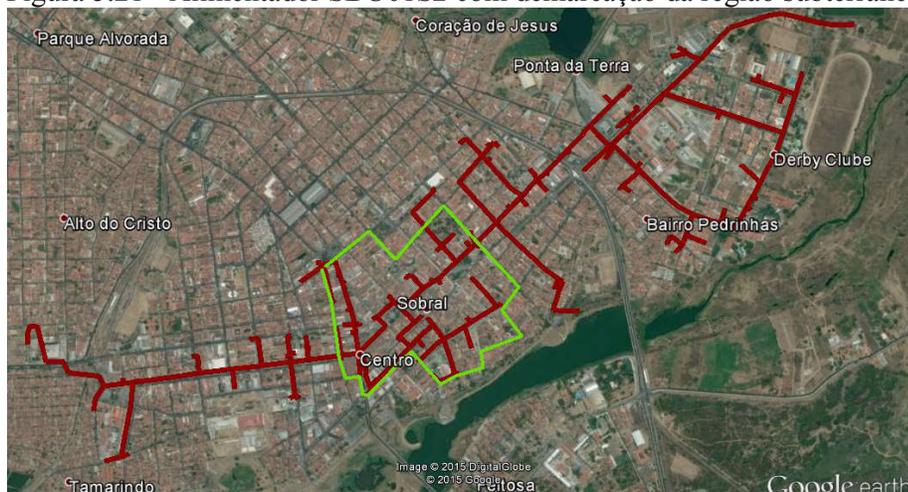
Fonte: Dados Coelce

De acordo com os dados da tabela 5.11 notasse que existe uma desproporcionalidade na distribuição de carga entre os alimentadores após ocorrerem as transferências de carga para SE SDI. Verificando-se ser necessária a readequação da rede de média tensão da SE SBU devido a violação do critério de demanda.

Observou-se as principais criticidades ocorridas no sistema, sendo analisada que a prioridade estaria no alimentador SBU01S2, devido a grande demanda de carga, a localização estar na região urbana do município e o planejamento de urbanização na região demarcada na

figura 5.21 realizada pela prefeitura do município de Sobral, definindo-se neste projeto a solicitação de rede subterrânea na área demarcada.

Figura 5.21 - Alimentador SBU01S2 com demarcação da região subterrânea



Fonte: Dados Coelce (Escala 1:200m)

A região demarcada terá como critério de projeto o término do alimentador SBU01S2 na rede subterrânea, tornando-se necessário realizar transferências das cargas a jusante do trecho para outros alimentadores.

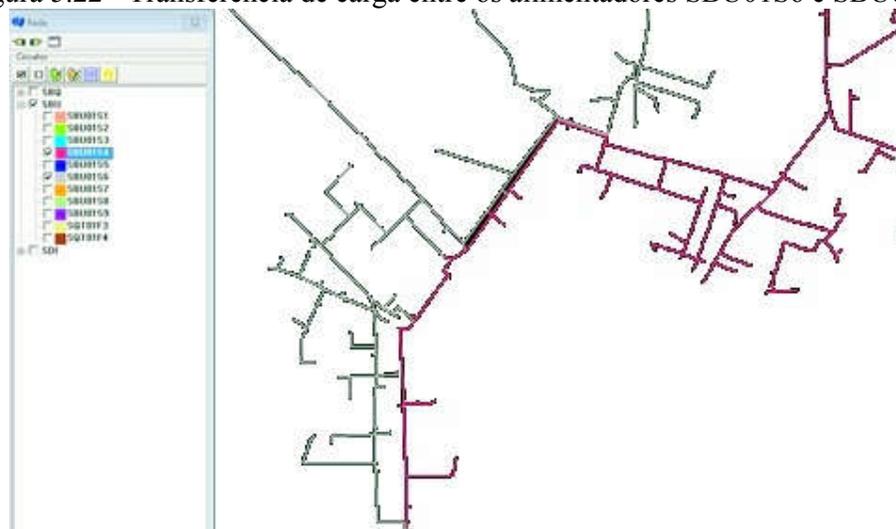
Como também no alimentador SBU01S7, que se têm uma problemática relacionada a sua extensão e por possuir cargas industriais no início de seus trechos, reduzindo-se assim o seu nível de tensão e fator de potência. Assim foi realizada o remanejamento de carga baseando-se nestes alimentadores e no barramento da subestação.

Previamente foi investigado como seria a redistribuição de carga entre os alimentadores, e verificou-se que as cargas nos alimentadores do barramento do transformador de força SBU02T1, deveriam ser transferidas para o transformador SBU02T2, baseando-se nos dados de carga fornecidos na tabela 5.11. Desta forma seria necessária transferir cargas para os alimentadores SBU01S5 e SBU01S6, pois se localizam na região central do município de Sobral e próximos aos alimentadores do transformador SBU02T1.

Após transferências ocorridas na SE SBQ houve uma redução de carga do alimentador SBU01S6, tornando-se possível redistribuir novas cargas de outros alimentadores, que neste caso seria do alimentador SBU01S4 ao qual possui um encontro. Para realizar a transferência solicitada foi construída uma linha paralela ao eixo do alimentador SBU01S4,

pois o desejado será assumir as cargas rurais da região da Colina da Boa Vista. Após as transferências os trechos dos alimentadores estão conforme ilustrados na figura 5.22.

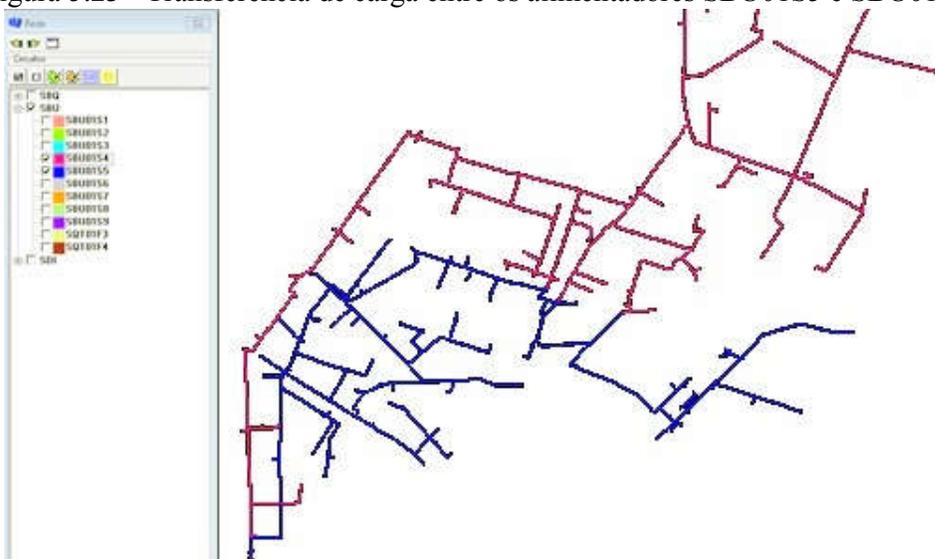
Figura 5.22 - Transferência de carga entre os alimentadores SBU01S6 e SBU01S4



Fonte: Dados de Rede do Interplan

Em sequência foi verificada a possibilidade de separar a região rural da região urbana do alimentador SBU01S5, conforme com a redução de carga no alimentador SBU01S4 foi analisado a possibilidade desta transferência de carga, obtendo-se assim os alimentadores ilustrados na figura 5.23.

Figura 5.23 - Transferência de carga entre os alimentadores SBU01S5 e SBU01S4



Fonte: Dados de Rede do Interplan

Com a redução de carga no alimentador SBU01S5 e SBU01S3 foi verificada a possibilidade de assumir parte da carga a jusante do alimentador SBU01S2 localizada na região do Bairro Derby. Mas primeiramente seria necessária realizar a construção de uma linha para a interligação do alimentador SBU01S2 ao SBU01S5, de aproximadamente de 570 m em condutor 1/0 CAA. Observando que este trecho possui grande densidade de carga, analisou-se os tipos de consumidores, conforme ilustrado na tabela 5.12.

Tabela 5.12 – Dados de transferência do alimentador SBU01S2

Tipos de Consumidos	Quantidade	Patamares	Trecho Derby - SBU01S2 (A)
Residencial	1649	Madrugada	50,2
Comercial	69	Manhã	104,73
Industrial	0	Tarde	112,29
Rural	6	Noite	63,88
Outros	43		
Total	1767		

Fonte: Dados de Rede do Interplan

Mesmo após a transferência de carga o alimentador SBU01S2 necessitaria ainda realizar transferências de cargas remanescentes, logo analisou-se a possibilidade entre os alimentadores SBU01S3 e SBU01S2, sendo que a carga demandada no trecho a ser transferido possui os patamares de carga ilustrados na tabela 5.13.

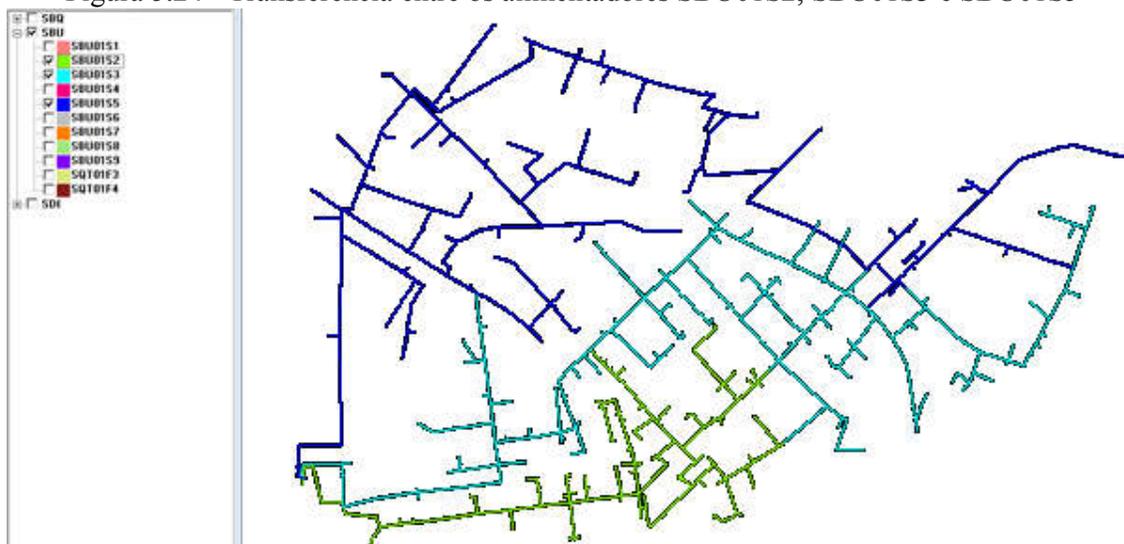
Tabela 5.13 - Dados de transferência entre SBU01S2 e SBU01S3

Patamares	Trecho - SBU01S2 (A)
Madrugada	85,78
Manhã	93,75
Tarde	97,64
Noite	88,87

Fonte: Dados de Rede do Interplan

Com as transferências realizadas obteve-se a seguinte topologia de rede entre os alimentadores SBU01S2, SBU01S3 e SBU01S5 ilustrada na figura 5.24.

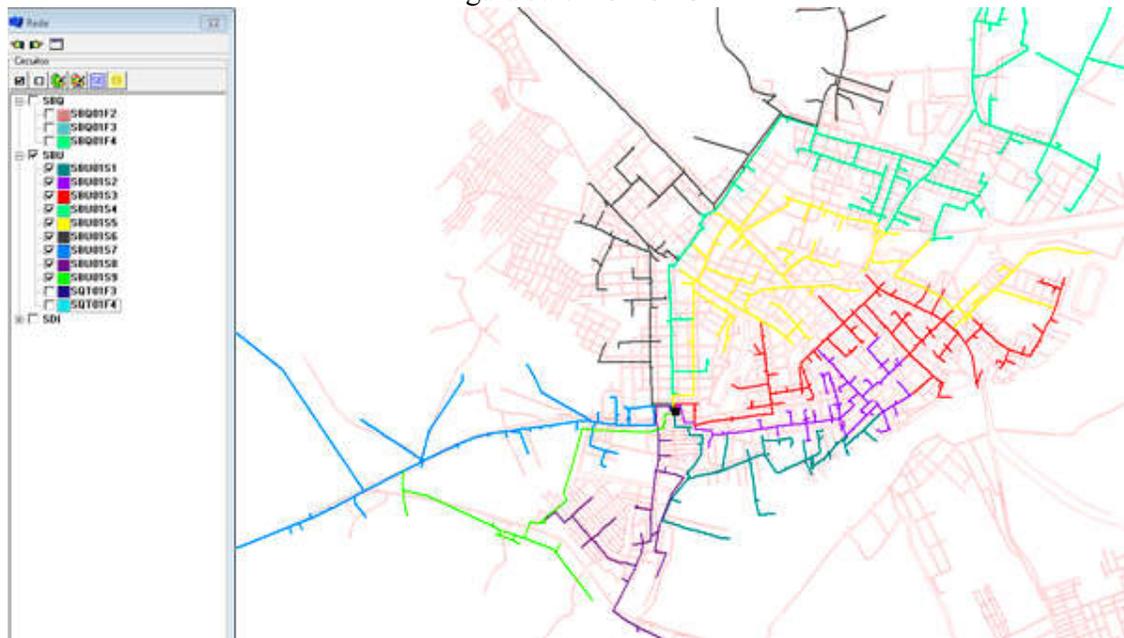
Figura 5.24 - Transferência entre os alimentadores SBU01S2, SBU01S3 e SBU01S5



Fonte: Dados de Rede do Interplan

Após a finalização das transferências de cargas, foi sondada a topologia de rede, e verificou-se que com a seguinte distribuição dos trechos dos alimentadores, foi dividida a relação entre cargas rurais e cargas urbanas, como também excluindo os cruzamentos entre os alimentadores que são prejudiciais a operação, conforme ilustrado na figura 5.25.

Figura 5.25 - SE SBU



Fonte: Dados de Rede do Interplan

Após as transferências verificou-se os parâmetros de carga da SE SBU no ano de 2016, e no último ano de estudo, 2020. A partir da distribuição de carga ilustrada na figura 5.25 foi analisada a carga demanda nos alimentadores da SE SBU, como também foi observado que a partir da distribuição dos trechos, obteve-se um balanceamento de carga entre os alimentadores, conforme ilustrado na tabela 5.14.

Tabela 5.14 - Dados dos alimentadores da SE SBU

ANO	SBU	Patamares (A)			
		Madrugada	Manhã	Tarde	Noite
2016	SBU01S1	65,15	97,99	112,3	78,96
	SBU01S2	98,03	185,46	203,06	121,93
	SBU01S3	196,38	233,67	258,19	209,35
	SBU01S4	160,66	164,4	196,49	203,38
	SBU01S5	165,58	256,01	298,05	199,98
	SBU01S6	136,37	140,49	146,72	161,47
	SBU01S7	99,62	96,68	138,08	114,48
	SBU01S8	31,8	37,76	42,53	53,67
	SBU01S9	37,21	37,06	37,37	37,19
2020	SBU01S1	79,15	118,88	136,17	95,87
	SBU01S2	118,26	223,92	245,19	147,15
	SBU01S3	225,91	270,99	300,63	241,59
	SBU01S4	192,97	197,49	236,34	244,66
	SBU01S5	199,59	309,4	360,39	241,27
	SBU01S6	161,05	166,03	173,56	191,36
	SBU01S7	120,08	116,65	167,01	138,01
	SBU01S8	38,33	45,52	51,26	64,7
	SBU01S9	42,61	42,43	42,81	42,59

Fonte: Dados de Rede do Interplan

Logo analisou-se a carga demandada dos dois transformadores de potência da subestação SBU (Sobral I). Conforme ilustrado na tabela 5.15, avaliando-se o balanceamento de carga entre os dois transformadores da SE.

Tabela 5.15 - Dados dos transformadores da SE SBU

ANO	Patamares	SBU02T1			SBU02T2		
		Potência Aparente (S)	S/S _{nominal} (%)	FP	Potência Aparente (S)	S/S _{nominal} (%)	FP
2016	Madrugada	12409,55	62,17	0,94	11225,89	56,24	0,93
	Manhã	16276,96	81,45	0,93	13567,48	67,88	0,93
	Tarde	18393,06	92,03	0,93	15834,24	79,21	0,93
	Noite	14645,04	73,33	0,94	13530,01	67,74	0,93
2020	Madrugada	14709,23	73,66	0,94	13414,72	67,16	0,93
	Manhã	19379,81	96,96	0,93	16248,17	81,27	0,93
	Tarde	21938,52	109,75	0,93	18998,34	95,02	0,92
	Noite	17411,57	87,16	0,93	16198,53	81,06	0,93

Fonte: Dados de Rede do Interplan

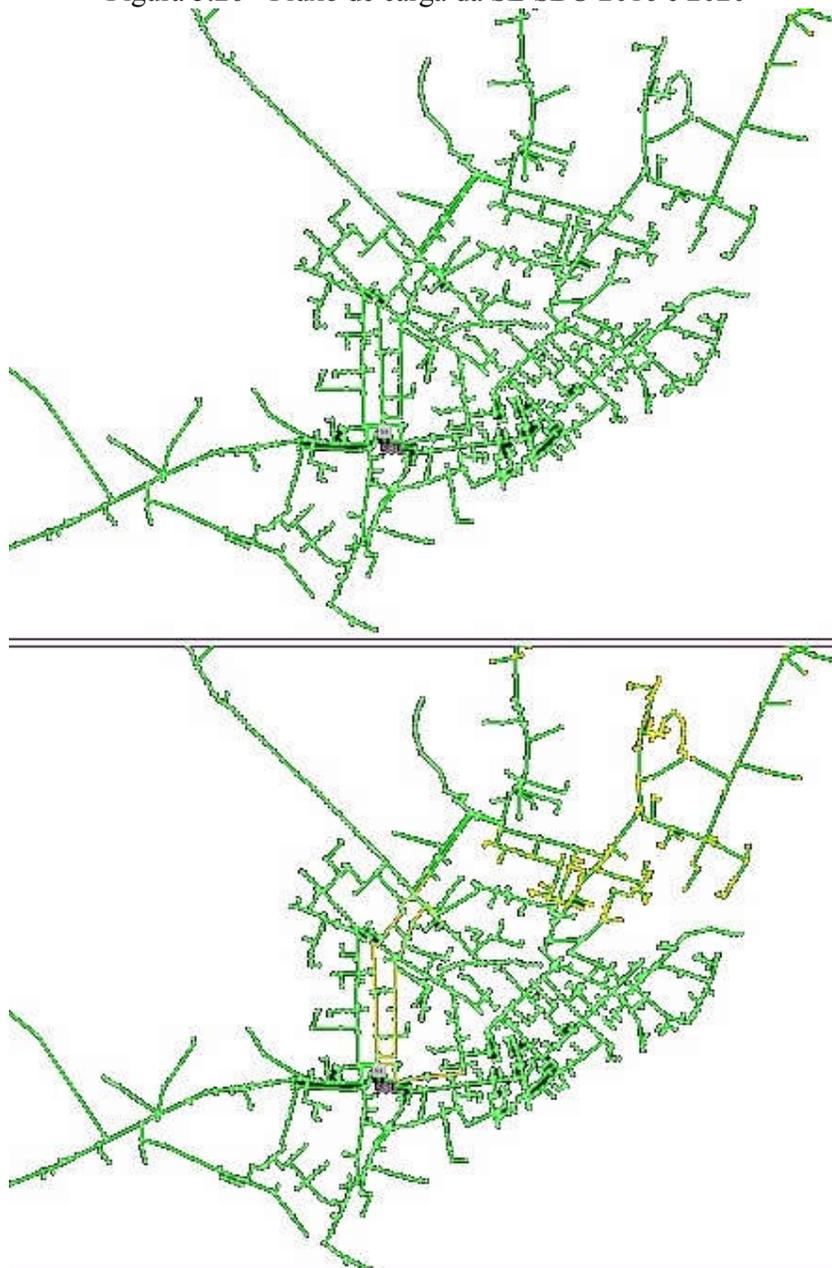
Verificando-se o carregamento dos dois transformadores observou-se que houve o balanceamento foi otimizada entre eles, porém não de forma ideal, devido as cargas demandadas estarem acumuladas na região central do município de Sobral.

Após a análise de carga foi verificado o critério de demanda dos alimentadores e dos transformadores de potência da SE SBU se estavam dentro dos critérios de planejamento. Notasse a partir do aplicativo Interplan a visualização do fluxo de carga nos trechos dos alimentadores, obtido na figura 5.26.

Verificou-se que na figura 5.26 não há a necessidade de realizar o recondutoramento das linhas além das já programadas pelo setor de obras da Coelce para as transferências de carga. Em sequência analisou-se os critérios de tensão a partir do módulo *Interplan Explorer*, sendo verificado a necessidade de inclusão de dois bancos de capacitores de capacidade de 300 kVAr, em trechos do alimentador SBU01S5 no Bairro Centro e no Bairro Derby, pois possuíam baixos níveis de fator de potência e de tensão nestes locais.

Também foi averiguado o critério de continuidade nos alimentadores, porém como não possuímos o DEC e FEC dos alimentadores a partir da simulação, estes dados não poderiam ser analisados devido a incoerência no aplicativo *Interplan*. Logo foi realizado uma análise qualitativa destes indicadores, considerando que após as transferências de cargas, a distribuição dos alimentadores e transformadores da SE, a subdivisão das cargas rurais e urbanas, o recondutoramento dos trechos, e a alocação de equipamentos de correção de rede, obteve-se uma melhora significativa em relação ao que obtinha anteriormente do sistema da SE SBU.

Figura 5.26 - Fluxo de carga da SE SBU 2016 e 2020



Fonte: Dados de Rede do Interplan

5.4 Custos de construção da rede da SE

Os custos de construção da SE foram subdivididos em três anos, sendo eles de 2015 a 2017, o primeiro ano o investimento foi relacionado ao terreno, o segundo ano relacionado a

construção da SE e as linhas de MT e AT e no terceiro ano ao reforçamento das linhas de MT e a construção do trecho da linha 02J1 da SE SBD, sendo estes valores descritos na tabela 5.16.

Tabela 5.16 - Custos planejados para construção da SE

Valores gastos na construção da SE		
2015	2016	2017
Terreno	Subestação	1 LDAT
	6 LDMT'S	Reforço das LDMT's
	2 LDAT's	
R\$ 1.939.000,00	R\$ 6.746.000,00	R\$ 3.473.000,00
Total		R\$ 12.158.000,00

Fonte: Dados Coelce

O planejamento foi realizado para que obedeça aos valores de investimento disponíveis, logo foi analisado os custos totais para linhas de média tensão que estão relacionados a adição de chaves seccionadoras, a inclusão e realocação de bancos reguladores de tensão e bancos de capacitores, o recondutoramento e construção de linhas de média tensão, sendo os valores para cada uma das modificações estarem no Anexo B. Baseando-se nos valores do Anexo B foi calculado os custos totais para adequação de rede, conforme ilustrado na tabela 5.17.

Tabela 5.17 - Custos planejados para construção das linhas de média tensão

MODIFICAÇÕES NA REDE	EQUIPAMENTO	QUANTIDADE	VALOR
INSTALAÇÃO	SECCIONADORA 400 A	20 m	R\$ 144.675,98
RECONDUTORAMENTO	CABO 4 CAA EIXO BIFÁSICO	2209,62 m	R\$ 77.994,51
RECONDUTORAMENTO	CABO 4 CAA PARA 1/0 CAA	54 m	R\$ 2.923,80
RECONDUTORAMENTO	CABO 4 CAA PARA 266CAA	1011,28 m	R\$ 99.328,41
CONSTRUCAO	CABO 1/0 CAA	472,76 m	R\$ 45.786,95
RECONDUTORAMENTO	CABO 1/0 CAA PARA 266CAA	719,11 m	R\$ 52.771,75
CONSTRUCAO	CABO 266CAA	6096,71 m	R\$ 517.180,80
CONSTRUCAO	CABO SUBTERRÂNEO	435,69 m	R\$ 108.974,13
REALOCAR/RETIRAR	REGULADORES DE TENSÃO	10 unidades	R\$ 32.430,30
INSTALAÇÃO	BANCO DE CAPACITORES	7 unidades	R\$ 77.897,05
TOTAL			R\$ 1.159.963,68

Fonte: Dados elaborados pelo Autor

O orçamento das linhas de média tensão ilustrados na tabela 5.18, estão altos aos padrões de preço da concessionária Coelce, que estipulam um valor do teto dos alimentadores

de R\$ 1.000.000,00. Porém, isto foi ocasionado devido à localização do terreno comprado, resultando na distância entre as linhas de média tensão e a subestação. Como também nos trechos que foram necessários realizar rede subterrânea, pois segundo o PDDU do município de Sobral a região da BR-403 não deverá possuir cruzamentos de linhas de distribuição de energia elétrica (PDDU SOBRAL, 1999).

Logo devido ao valor alto no orçamento das linhas de média tensão, será necessário ser executado o ajuste para remanejar os custos de investimentos. Verificando-se quais podem ser realizados primeiro em relação aos outros. Logo esta ação será realizada ao decorrer da execução das linhas de média tensão.

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentado uma alternativa para o planejamento de uma subestação abaixadora de 69/13,8 kV, seguindo ao máximo os critérios e diretrizes técnicas das normas relacionadas ao planejamento da concessionária local.

Inicialmente, foi analisada a violação dos critérios de demanda, tensão e continuidade no sistema de distribuição no município de Sobral. Obtendo-se a violação dos critérios na SE SBU, de modo que não seria mais viável realizar a correção das violações somente com manutenções e obras de estruturação na rede de distribuição. Tornando a alternativa mais viável ser a construção de uma nova subestação na região que obtinha mais violações dos critérios de planejamento, observando-se ser na região do Distrito Industrial do município.

Foi realizado após o estudo da localização para a construção da nova SE, analisando os critérios técnicos e econômicos do terreno, das linhas de alta e média tensão. A partir disto foram obtidas três alternativas, verificando a que obtinha melhor retorno financeiro localizada em uma região que possuía baixo custo de investimento no terreno e nas linhas de alta tensão, porém altos valores para linhas de média tensão. Logo, foi definido conjuntamente com o local do terreno a capacidade da SE planejada no primeiro ciclo de médio prazo, solicitando um transformador de potência de 33 MVA e 06 linhas de média tensão.

Com a definição do local e a capacidade de carga da nova SE, foram realizadas as modificações no sistema de distribuição necessárias para interligação, analisando-se as linhas de alta e média tensão. Foi constatado que seria necessário interligar duas linhas de alta tensão da SE SBD, 02J2 e 02J8. Porém, analisou-se que caso ocorra a utilização da capacidade máxima da subestação haveria saturação destas linhas, sendo projetada, então, a interligação e o recondutoramento de uma terceira linha de alta tensão, 02J1 da SE SBD, para sua alimentação.

Posteriormente, foi analisada a interligação das linhas de média tensão da nova SE com auxílio do aplicativo Interplan, estudando a subdivisão dos alimentadores da SE SBU e SDI em duas regiões, divididas pelo obstáculo natural do Rio Acaraú localizado no município de Sobral. Em seguida foram distribuídos os trechos dos alimentadores de acordo com os parâmetros de demanda, tensão e continuidade de rede e o tipo de carga a ser alimentada, verificando-se conjuntamente as devidas correções necessárias para manter-se os critérios de

planejamento de rede da concessionária local, utilizando equipamentos de correção, de manobras e transferências de cargas.

Por fim foi realizada o estudo do custo do investimento de rede de média tensão, baseando-se nos investimentos totais programados para a construção da nova SE. Analisando os valores de equipamentos de correção, a construção e o recondutoramento nas linhas de média tensão necessárias para se adequar aos parâmetros definidos nas normas da concessionária Coelce e dos módulos do PRODIST da ANEEL.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aneel, PRODIST. **Módulo 2 – Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição R-01/2010.**

Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/modulo2_revisao_1.pdf>.

Acesso em: 28 nov. 2015

Aneel, PRODIST. **Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica R-01/2010**

Disponível em:

<http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/modulo8_revisao_1_retificacao_1.pdf>.

Acesso em: 28 nov. 2015

Associação Nacional dos Centros de Pós-Graduação em Economia. **Descentralização Industrial no Brasil na Década de Noventa Um Processo Dinâmico e Diferenciado Regionalmente.** Disponível em:

<<http://www.anpec.org.br/encontro2001/artigos/200104317.pdf>>.

Acesso em: 15 nov. 2015.

ATLAS eletrônico do **consumo de energia elétrica total ano de 2013**. Fortaleza: Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará, 2015.2 atlas. Escalas variam. Disponível em: <<http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo4/41/index.htm> >.

Acesso em: 25 nov. 2015.

Coelce, **Diretrizes e Critérios Técnicos DCT-006/2015 R-02** *Critérios de Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição de Alta e Média Tensão*

Coelce, **Instrução de Trabalho IT-047/2012 R-01** *Planejamento Técnico do Sistema de Distribuição de Média Tensão*

Coelce, **Instrução de Trabalho IT-048/2014 R-02** *Elaboração do Plano de Investimento da Expansão do Sistema de Distribuição de Alta e Média Tensão*

Consumo mensal de energia elétrica por classe (regiões e subsistemas) – 2004-2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA –EPE. Disponível em:

<[http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/Consumomensaldeenergiael%C3%A9tricaporclasse\(regi%C3%B5esesubistemas\)%E2%80%932011-2012.aspx](http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/Consumomensaldeenergiael%C3%A9tricaporclasse(regi%C3%B5esesubistemas)%E2%80%932011-2012.aspx)>.

Acesso em: 15 nov. 2015.

Daimon Engenharia e Sistemas Ltda. **Manual do aplicativo Interplan**, 2013.

ELETROBRÁS. **Planejamento de sistema de distribuição**. Vol 1. ed. Campus Ltda.,1982. 241 p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Índice de Desenvolvimento Humano municipal – IDHM**. Disponível em:

<<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=231290&idtema=118&search=ceara|sobral|C3%8Dndice-de-desenvolvimento-humano-municipal-idhm->>>.

Acesso em: 15 nov. 2015.

KAGAN, Nelson. **Introdução aos sistemas de distribuição de energia elétrica**. 2 ed. Edgard Blucher Ltda, 2013. 328 p.

Leão, R. P. S. Capítulo 1 - Distribuição de Energia [on-line]. Disponível em: <http://www.dee.ufc.br/~rleao/GTD/Apostila_GTD.htm>.

Acesso em 10/12/2015

Leão, R. P. S. Capítulo 5 - Distribuição de Energia [on-line]. Disponível em: <http://www.dee.ufc.br/~rleao/GTD/Apostila_GTD.htm>.

Acesso em 10/12/2015.

Relatório analítico projeções do mercado de energia elétrica 2005-2015. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Disponível em:

<http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/Mercado_1/RelatorioAnalitico.pdf>.

Acesso em: 15 nov. 2015.

RODRIGUES, Jessyca. “**Sobral vira alvo de investimento industrial**”. Diário do Nordeste, Fortaleza, fev.2013. Disponível em:

<<http://diariodonordeste.verdesmares.com.br/cadernos/negocios/sobral-vira-alvo-de-investimento-industrial-1.113309>>.

Acesso em: 15 nov. 2015.

Secretária do Desenvolvimento Local e Regional, Governo do estado do Ceará. **Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Sobral**

Disponível em:

<<http://conteudo.ceara.gov.br/content/aplicacao/sdlr-pddu/sobral/gerados/legislacao.asp>>.

Acesso em: 28 nov. 2015

ANEXO A - SOLICITAÇÃO DE ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA -AVT



Rua Padre Valdevino, 150 - CEP 60135-040 - Fortaleza CE
Central de Relacionamento 0800 285 7887
www.coelce.com.br

Solicitação de Estudo de Viabilidade Técnica - AVT

OBS.: Devem ser preenchidos todos os itens para solicitação de AVT referente a acréscimo de demanda/potência e ligação nova .

1. IDENTIFICAÇÃO DO CLIENTE (PESSOA FÍSICA)

NOME

ENDEREÇO

TELEFONE

CELULAR

E-MAIL

COMO VOCÊ PRETENDE RECEBER O AVT?

E-MAIL

RETIRAR PESSOALMENTE NA COELCE

2. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO (PESSOA JURÍDICA)

NOME DO EMPREENDIMENTO

RAMO DE ATIVIDADE

CNPJ

CAPACIDADE INSTALADA PREVISTA	DEMANDA PREVISTA NA PONTA	DEMANDA PREVISTA NA FORA PONTA	PREVISÃO DE LIGAÇÃO
kVa	kW	kW	
CAPACIDADE INSTALADA ATUAL	DEMANDA ATUAL NA PONTA	DEMANDA ATUAL FORA PONTA	
kVa	kW	kW	

DOCUMENTOS APRESENTADOS

OFÍCIO/CARTA

MEMORIAL DESCRITIVO

PROJETO ELÉTRICO

CROQUIS/LOCALIZAÇÃO

3. IDENTIFICAÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO

CÓDIGO DA ESTRUTURA ANTERIOR AO PONTO DE ENTREGA

CÓDIGO DA ESTRUTURA POSTERIOR AO PONTO DE ENTREGA

4. IDENTIFICAÇÃO DO PROJETISTA

NOME

Nº CARTEIRA CREA

Nº CREDENCIAMENTO COELCE

TELEFONE

CELULAR

E-MAIL

5. CARGAS ESPECIAIS

São consideradas cargas especiais: fornos, motores de corrente alternada superior a 30CV, individualmente ou em conjunto, cargas alimentadas em corrente contínua, conversores, compressores, reticadores e demais cargas que possam causar perturbação no fornecimento de energia. Caso o empreendimento possua cargas especiais, o mesmo deve preencher o Anexo G - Informações Técnicas de Carga.

ESTA SOLICITAÇÃO PODE SER ENVIADA POR EMAIL

ANEXO B - DADOS DE CUSTOS PARA LINHAS DE MÉDIA TENSÃO



Planejamento da Rede de Alta e Média Tensão

ORÇAMENTO RESUMO ESTIMADO * PLANO DE INVESTIMENTO 2015

Tipo Serviço: **Construção**

		Sistema MT				
		Valor ODI	Valor ODI	Valor ODI	Valor ODI	Valor ODD
Projetado	Unidade	Total	Material	Trei	Outros	Total
CAA 4 AWG	km	52.946,56	-	-	-	-
CAA 1/0AWG	km	95.509,10	65.887,44	4.916,80	24.704,86	1.341,21
CAL 160mm2	km	138.488,73	97.237,49	6.833,39	34.417,85	1.925,85
CAA 266.8MCM	km	125.457,90	87.840,21	6.230,77	31.386,92	1.786,34
Cobre 25mm ²	km	137.574,51	108.920,29	3.896,39	24.757,83	1.768,75
Cobre 35mm ²	km	149.363,99	121.625,79	4.350,90	23.387,29	2.015,99
Cobre 70mm ²	km	203.535,23	158.860,12	6.898,67	37.776,44	2.837,40
Cobre 95mm ²	km	239.215,64	192.841,64	6.898,50	39.475,51	3.334,81
Spacer 185mm ²	km	179.025,95	123.635,41	7.725,17	47.665,37	2.382,29
Spacer 240mm ²	km	210.215,12	138.468,55	10.429,30	61.317,26	2.797,32
300 mm ² (Subterrâneo)	km	250.118,50	163.110,00	8.738,50	78.270,00	3.328,31

Tipo Serviço: **Recondutoramento**

		Unidade	Sistema MT				
			Valor ODI	Valor ODI	Valor ODI	Valor ODD	
Existente	Projetado		Total	Material	Trei	Outros	Total
CAA 4AWG							
	CAA 1/0AWG	km	53.433,33	35.185,74	2.625,71	15.621,88	711,03
	CAL 160mm2	km	150.948,91	116.154,98	4.155,20	30.638,74	2.008,67
	CAA 266.8MCM	km	145.739,25	95.969,00	7.161,62	42.608,62	1.591,48
CAA 1/0AWG							
	CAL 160mm2	km	150.948,91	116.154,98	4.155,20	30.638,74	2.008,67
	CAA 266.8MCM	km	108.595,75	73.310,04	3.064,58	32.221,14	1.481,45
Cobre 2AWG ou 25mm²							
	Cobre 35mm ²	km	204.121,98	157.071,58	5.618,90	41.431,50	2.716,24
	Cobre 70mm ²	km	213.227,38	164.078,17	5.869,55	43.279,66	2.837,40
	Cobre 95mm ²	km	250.607,05	192.841,78	6.898,51	50.866,77	4.564,34

Cobre 70mm²						
Cobre 95mm ²	km	250.607,05	192.841,78	6.898,51	50.866,77	3.334,81

Tipo Serviço: Instalação Equipamentos

Sistema MT						
Tipo de Equipamento	Unidade	Valor ODI	Valor ODI	Valor ODI	Valor ODI	Valor ODD
		Total	Material	Trei	Outros	Total
Projetado						
Banco Capacitor Shunt 300kvar	um	11.128,15	7.199,85	614,54	3.313,76	0,00
Banco Regulador Tensão						
Delta Fechado 300A		244.254,82	224.702,10	1.486,38	18.066,34	0,00
Delta Fechado 100A	um	185.733,67	170.865,59	1.130,26	13.737,81	0,00
Delta Fechado 200A	um	242.495,76	219.822,75	2.127,20	20.545,81	0,00
Fechamento Delta banco de 100A	um	62.295,03	56.955,20	376,75	4.963,08	0,00
Fechamento Delta banco de 200A	um	81.174,66	73.274,25	709,07	7.191,35	0,00
Religador Automático 280A	um	62.445,39	54.638,73	868,69	6.937,97	0,00
Chave U T R	uma	49.100,23	39.988,96	1.017,16	8.094,12	0,00
Chave Secionadora 400A	uma	7.233,80	3.074,21	1.088,48	3.071,11	0,00

Tipo Serviço: Relocação Equipamentos

Sistema MT						
Tipo de Equipamento	Unidade	Valor ODI	Valor ODI	Valor ODI	Valor ODI	Valor ODD
		Total	Material	Trei	Outros	Total
Projetado						
Banco Capacitor Shunt 300kvar	um	8.612,37	3.258,15	816,48	4.537,74	536,09
Banco Regulador Tensão						
Delta Fechado 300A		25.360,95	14.070,53	1.754,54	9.535,87	767,09
Delta Fechado 100A	um	16.996,98	9.879,18	1.231,90	5.885,90	728,74
Delta Fechado 200A	um	23.055,36	13.400,50	1.670,99	7.983,86	767,09
Religador Automático 280A	uma	18.576,61	10.306,54	1.285,19	6.984,88	0,00
Chave U T R	uma	16.521,84	9.166,53	1.143,03	6.212,28	267,75

ANEXO C - CRITÉRIOS PARA A EXPANSÃO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO

A construção de uma nova subestação pela COELCE é definida após ser analisadas as diretrizes expostas na norma corporativa DCT-006, que nela descreve os critérios de planejamento de expansão do sistema de distribuição de alta e média tensão. Nesta norma são fundamentados critérios para realizar o estudo de caso, sendo os seguintes citados abaixo (COELCE,2015).

- Critério de demanda, em operação normal e em contingência simples;
- Critério de tensão;
- Critério de continuidade.

Como também demonstra as devidas soluções técnicas para caso ocorra violação dos critérios estabelecidos na norma DCT-06.

Critérios de demanda

O critério de demanda define o nível de carregamento dos elementos e equipamentos, a partir do fluxo de potência inserido em comparação a capacidade nominal, ou seja, a máxima admissível. Neste critério são analisados as Linhas de Distribuição de Alta Tensão (LDAT's), as Linhas de Distribuição de Média Tensão (LDMT's), ou alimentadores, os transformadores de força e os equipamentos instalados no sistema de distribuição.

Nas LDAT's os limites de carregamento dos condutores utilizados não devem exceder os valores estabelecidos na figura a seguir, tanto em condição de operação normal quanto em contingência (emergência). A condição normal de operação ocorre quando não há a necessidade de assumir cargas de outras linhas e a condição de emergência quando há a necessidade de assumir cargas de outras linhas por causa de alguma contingência que deixou algum equipamento ou elemento fora de operação (COELCE,2015).

Capacidade das Linhas de Alta Tensão

Condutor	Condição normal (MVA)	Condição de emergência (MVA)
CAA1/0 AWG	20	23
CAA 266,8 MCM	36	43
CAA 336,4 MCM	57	65
CAA 477 MCM	62	68
CA 556,5 MCM	79	90
CA 556,5 MCM (T-DAHLIA)	123	138
CAL 160 mm ²	36	43
CAL 315 mm ²	79	90
CAL 500 mm ²	110	126

Fonte: DCT-006 (Coelce)

Quando as linhas de alta tensão atendem a circuitos múltiplos, é analisado em contingência simples o carregamento máximo admissível de acordo com ilustrado na equação.

Demanda máxima da linha \leq Capacidade da Linha – Um circuito de maior capacidade

O critério estabelecido para transformadores de potência ou de força é baseado na análise de operação normal e contingência, sendo a operação normal representa pela capacidade máxima com ventilação forçada do equipamento e o estado de contingência é relacionado a não ultrapassagem dos limites de sobrecarga estabelecidos para o equipamento, sem que interfira no tempo de vida útil.

A partir destes conceitos é calculado a capacidade da subestação assumir a carga, quando a contingência é ocasionada pela falta de uma das unidades transformadoras, de acordo como demonstrado na equação.

Capacidade Firme da SED

$$= [(MVA \text{ instalado} - MVA \text{ maior Transformador}) * K] + \text{Apoio da MT}$$

O termo “K” demonstrado na equação 02 é definido como a taxa percentual de sobrecarga admissível da unidade de transformação, sendo este baseado em estudos específicos dos fabricantes.

O critério estabelecido para LDMT's ou alimentadores são baseados no carregamento máximo suportado pelo condutor, que são estabelecidos pelas tabelas.

Condutores de Cobre NU aplicados em LDMT's

Seção (mm ²)	Corrente Nominal (A)
25	187
35	227
70	356
95	438

Fonte: Dados Coelce

Condutores de Alumínio NU com alma de aço aplicados em LDMT's

AWG/MCM	Corrente Nominal (A)	Tipo
4	140	SWAN
1/0	242	RAVEN
266,8	440	PARTRIDGE

Fonte: Dados Coelce

Conjuntamente com os valores de carregamento ilustrados pelas tabelas são definidos outros critérios, a partir da disposição geográfica dos alimentadores, ou seja, do alimentador ser de estrutura radial e longa com sua característica rural e que não possui recursos de manobra ou do alimentador ser de estrutura curta com sua característica urbana que possui recursos de manobra.

O critério para os alimentadores rurais, é definido de acordo com os parâmetros do nível de tensão do alimentador, pois de acordo com sua extensão o nível de tensão tende a cair. Caso este critério não seja violado o alimentador pode assumir o carregamento máximo. O critério para os alimentadores urbanos tanto para condição normal como para a de emergência será definida pelo carregamento máximo, ou seja, mesmo que haja uma contingência a disposição dos alimentadores deve ser a capacidade máxima de carregamento, não podendo ultrapassar este valor (ANEEL,2010), conforme é demonstrado na equação.

$$\frac{\text{Demanda máxima do Conjunto de N alimentadores}}{(N - 1) \text{ Alimentadores}} \leq \text{Capacida Máxima individual dos demais circuitos}$$

No critério estabelecido para os equipamentos instalados no sistema de distribuição é definido que em condição normal de operação, pode-se aplicar a capacidade nominal definida

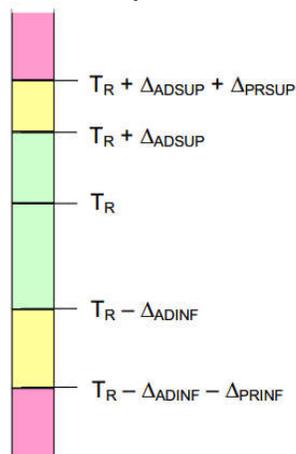
pelo fabricante e em condição de contingência é definido pela capacidade nominal do equipamento.

Critérios de tensão

O critério estabelecido para os níveis de tensão é definido de acordo com o Módulo 8 do PRODIST, que descreve sobre a qualidade do fornecimento de energia elétrica (ANEEL,2010). De acordo com o módulo 8, os níveis de tensão são definidos a partir da análise da tensão de referência que é 1 p.u., conforme a equação 04.

$$V_{pu} = V/V_{base} = 13,8kV/13,8kV = 1 p.u$$

Faixa de tensão em relação a referência



Fonte: Módulo 8 (PRODIST)

Sendo,

$T_r \rightarrow$ Tensão de Referência

$T_r - \Delta_{ADSUP} \rightarrow$ Tensão Adequada Superior

$T_r - \Delta_{ADSUP} - \Delta_{PRSUP} \rightarrow$ Tensão Precária Superior

$T_r - \Delta_{ADINF} \rightarrow$ Tensão Adequada Inferior

$T_r - \Delta_{ADINF} - \Delta_{PRINF} \rightarrow$ Tensão Precária Inferior

Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou superior a 1 kV e inferior a 69 kV

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (TL) em Relação à Tensão de Referência (TR)
Adequada	$0,93TR \leq TL \leq 1,05TR$
Precária	$0,90TR \leq TL < 0,93TR$
Crítica	$TL < 0,90TR$ ou $TL > 1,05TR$

Fonte: Dados Módulo 8 (PRODIST)

Critérios de Continuidade

O critério estabelecido para o nível de continuidade é definido a partir do Módulo 8 do PRODIST. De acordo com o módulo 8, os indicadores analisam a continuidade nas unidades consumidoras nos parâmetros de duração da interrupção, que são a Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora (DIC), a Duração Máxima de Interrupção Individual por Unidade Consumidora (DMIC), a Duração de Interrupção Individual ocorrida em dia crítico por Unidade Consumidora (DICRI) e a Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) e nos parâmetros de frequência da interrupção, que são a Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora (FIC) e a Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC).

Os parâmetros de duração da interrupção analisam o período que a unidade consumidora ou conjunto de unidades consumidoras estão sem fornecimento de energia elétrica, sendo eles calculados a partir das seguintes equações (ANEEL,2010).

Sendo os indicadores individuais calculados da seguinte forma,

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

$$DMIC = t(i)_{m\acute{a}x}$$

$$DICRI = t_{cr\acute{it}ico}$$

Onde,

$t(i)$ → *tempo de duração da interrupção*

$t(i)_{máx}$ → *tempo da máxima duração de interrupção*

$t_{crítico}$ → *tempo da duração ocorrida em dia crítico*

Sendo o indicador equivalente calculado da seguinte forma,

$$DEC = \left[\sum_{i=1}^{CC} DIC(i) \right] / Cc$$

Onde,

Cc → *número total de unidades consumidoras do conjunto analisado*

Os parâmetros de frequência da interrupção analisam a quantidade de vezes que a unidade consumidora ou conjunto de unidades consumidoras ficou sem fornecimento de energia elétrica, sendo eles calculados a partir das seguintes equações.

Sendo o indicador individual calculado da seguinte forma,

$$FIC = n$$

Onde,

n → *número de interrupções em unidades consumidoras*

Sendo o indicador equivalente calculado da seguinte forma,

$$FEC = \left[\sum_{i=1}^{CC} FIC(i) \right] / Cc$$

Os critérios de continuidade são um dos fatores mais utilizados para determinar a confiabilidade no sistema de distribuição, devido aos seus índices estarem diretamente relacionados as contingências da rede (ELETROBRÁS,1982).