



**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**  
**ESTELA CHRISTINA MÜLLER**  
**MAKELY REGINA DA SILVA DALPRÁ**

**ATENDIMENTO ELÉTRICO ENERGÉTICO NA ILHA DE SANTA CATARINA:**  
**LT 230 KV BIGUAÇU - DESTERRO**

Palhoça  
2011

**ESTELA CHRISTINA MÜLLER**  
**MAKELY REGINA DA SILVA DALPRÁ**

**ATENDIMENTO ELÉTRICO ENERGÉTICO NA ILHA DE SANTA CATARINA:  
LT 230 KV BIGUAÇU - DESTERRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Engº Roniere Henrique de Oliveira, Msc.

Palhoça

2011

**ESTELA CHRISTINA MÜLLER**  
**MAKELY REGINA DA SILVA DALPRÁ**

**ATENDIMENTO ELÉTRICO ENERGÉTICO NA ILHA DE SANTA CATARINA:**  
**LT 230 KV BIGUAÇU - DESTERRO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia Elétrica - Telemática da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Paolhoa, 07, de dezembro de 2011.

---

Professor e orientador Eng° Roniere Henrique de Oliveira, Msc.  
Universidade do Sul de Santa Catarina

---

Eng° Paulo Roberto May, Msc.  
Universidade do Sul de Santa Catarina

---

Eng° Fernando de Souza, Esp.  
Celesc Distribuição

---

Eng° Gérson Vieira Martinez, Esp.  
Eletrobrás Eletrosul Centrais Elétricas S.A.

Dedicamos este trabalho a alguém, este  
alguém sabe quem!

## **AGRADECIMENTOS**

É muito difícil de expressar em poucas palavras nossos sentimentos sobre pessoas queridas que passaram em nossas vidas. Antes de relatar os agradecimentos às pessoas que julgamos serem as mais importantes, queríamos dizer a todas as pessoas que fizeram e que ainda fazem parte da nossa vida, o nosso MUITO OBRIGADA!

Nossos agradecimentos aos nossos pais, Miguel e Mercedes, Carlos e Vera, pelos bons ensinamentos. Se hoje somos especiais é porque vocês nos deram a base, a nossa família. A vocês, pai e mãe, o nosso MUITO OBRIGADA!

Nossos agradecimentos aos nossos amores, Guilherme e Charles, pela paciência, pelas palavras de carinho, pelo respeito. Aos nossos amores, Guilherme e Charles, o nosso MUITO OBRIGADA!

Nossos agradecimentos aos nossos amigos e colegas UNISUL. Durante a faculdade conhecemos muitas pessoas. Muitas amizades se concretizaram e outras passaram iguais a um cometa. Não importa o tipo de amizade, de algum modo todos fizeram parte da nossa vida acadêmica. A todos os nossos amigos e colegas UNISUL o nosso MUITO OBRIGADA!

Nossos agradecimentos aos amigos da Celesc e da Eletrosul. Nestes, quase seis anos juntos, muitas palavras e olhares de incentivo nos apoiaram nos momentos mais críticos. A vocês, amigos Celesc e amigos Eletrosul, o nosso MUITO OBRIGADA!

Nossos agradecimentos, aos novos amigos que fizemos durante a concretização deste trabalho e que sem eles, ficaria mais difícil de concretizá-lo. Aos nossos mais novos amigos, o nosso MUITO OBRIGADA!

Nossos agradecimentos aos mestres e professores, que nos ensinaram a base da engenharia e também pelas trocas de conhecimento. Aos nossos mestres e professores, o nosso MUITO OBRIGADA!

Nossos agradecimentos ao Roni, apelido carinhoso que demos ao nosso orientador, que desde o primeiro momento nos deu toda atenção. Acreditou no nosso potencial e sempre nos incentivou. A você, Roni, o nosso MUITO OBRIGADA!

Nossos agradecimentos à Deus, que durante a nossa vida muitos caminhos nos mostrou. E sempre em volta de escolhas acreditamos que esta foi a melhor escolha. Se ele quiser e sabemos que vai querer seremos grandes Engenheiras Eletricistas! À Deus, o nosso MUITO OBRIGADA!

Estela e Makely

“My life is a simple thing that would interest nobody. It is a know fact that I was born, and that is all that is necessary”. (ALBERT EINSTEIN).

## **RESUMO**

Este trabalho traz um retrato de como ficou o sistema de abastecimento de energia elétrica na Ilha de Santa Catarina, depois do incidente ocorrido em 2003 em que a população ficou sem energia por volta de 55 horas. Ainda são citados os estudos e as soluções adotadas para a confiabilidade do sistema elétrico na ilha e como foco principal a implantação da LT 230kV Biguaçu – Desterro.

Palavras-chave: Linha de Transmissão, Subestação, Cabo Submarino, Sistema de Proteção.

## **ABSTRACT**

This paper portrays what happened in the 2003 power shortage on Santa Catarina Island after the incident which left the population with a blackout which lasted for 55 hours. Studies and adopted solutions for the reliability of the island's electric system are cited throughout this work, with the main focus being the implementation of the 230kV Biguaçu-Desterro transmission line.

Keywords: Transmission Line, Substation, Submarine Cable, Protection System.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1-1: Rede de Transmissão e Distribuição: Santa Catarina Planalto e Litoral .....           | 18 |
| Figura 1-2: Diagrama Unifilar da Possibilidade de Manobra entre as Linhas de Transmissão. ....    | 19 |
| Figura 1-3: Rede de Transmissão e Distribuição: Ilha de Santa Catarina 2004.....                  | 20 |
| Figura 1-4: Notícia sobre o apagão na Ilha de Santa Catarina .....                                | 22 |
| Figura 1-5: Esquema Elétrico Simplificado com os Reforços nas Instalações. ....                   | 26 |
| Figura 2-1: Ano 2020 – alternativa B.....                                                         | 33 |
| Figura 3-1: Encordoamento da Cabos CAA.....                                                       | 45 |
| Figura 3-2: Corte de um Trecho da Batimetria na Rota do Cabo.....                                 | 47 |
| Figura 3-3: SE de Transição em 230kV no Continente.....                                           | 49 |
| Figura 3-4: SE de Transição em 230kV na Ilha .....                                                | 49 |
| Figura 3-5: Transição de Cabo Aéreo para Submarino .....                                          | 50 |
| Figura 3-6: Corte do Cabo Submarino com Representação de suas Camadas.....                        | 51 |
| Figura 3-7: Balsa com as Bobinas dos Cabos Submarinos .....                                       | 53 |
| Figura 3-8: Lançamento do Cabo Submarino.....                                                     | 54 |
| Figura 3-9: Corte do Cabo Óptico Submarino.....                                                   | 55 |
| Figura 3-10: Corte Cabo OPGW .....                                                                | 59 |
| Figura 3-11: Teleproteção com Cabo OPGW .....                                                     | 60 |
| Figura 3-12: Estrutura S2, R2, D2 e A2. ....                                                      | 67 |
| Figura 3-13: Estruturas DFS, DFZ e DFN. ....                                                      | 68 |
| Figura 3-14: Estruturas DFM e DFL. ....                                                           | 69 |
| Figura 3-15: Estruturas de Concreto SSC, ASC e ASCE.....                                          | 70 |
| Figura 3-16: Isolador do Tipo Disco de Vidro .....                                                | 72 |
| Figura 3-17: Cadeia de Suspensão de Isoladores. ....                                              | 73 |
| Figura 4-1: Arranjo Barra Principal mais Transferência .....                                      | 82 |
| Figura 4-2: Arranjo Barra Principal Seccionada mais Transferência.....                            | 83 |
| Figura 4-3: Arranjo Barra Dupla a Quatro Chaves.....                                              | 85 |
| Figura 4-4: Arranjo Barra Dupla a Cinco Chaves .....                                              | 86 |
| Figura 4-5: Arranjo Disjuntor e Meio .....                                                        | 88 |
| Figura 4-6: Módulo de EL 230 kV: à esquerda LT Desterro e à direita LT Palhoça na SE Biguaçu..... | 90 |

|                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 4-7: Pára-raios da LT Biguaçu – Desterro, fase C na SE Biguaçu .....                                                    | 91  |
| Figura 4-8: TC's da LT Biguaçu – Desterro, na SE Biguaçu.....                                                                  | 95  |
| Figura 4-9: TPC's da LT Biguaçu – Desterro na SE Biguaçu.....                                                                  | 97  |
| Figura 4-10: TPC's da LT Biguaçu – Desterro na SE Biguaçu.....                                                                 | 100 |
| Figura 4-11: Chave Seccionadora Abertura Vertical da LT Biguaçu – Desterro na SE Biguaçu .....                                 | 101 |
| Figura 4-12: Chave Seccionadora Semi Pantográfica da LT Biguaçu – Desterro na SE Biguaçu.....                                  | 103 |
| Figura 4-13: Zonas de divisão Primária .....                                                                                   | 105 |
| Figura 4-14: Princípio da Proteção diferencial.....                                                                            | 110 |
| Figura 4-15: Zonas de divisão Primária .....                                                                                   | 111 |
| Figura 4-16: Diagrama Fasorial do Limiar de Operação do Relé Direcional .....                                                  | 114 |
| Figura 4-17: Esquema de Teleproteção .....                                                                                     | 117 |
| Figura 4-18: Esquema de Teleproteção .....                                                                                     | 119 |
| Figura 4-19: Torre de Telecomunicação em Água Clara após rajadas de vento forte e chuva em 25/10/2011 .....                    | 120 |
| Figura 4-20: Bobina de Bloqueio na Linha de Transmissão 138 kV Biguaçu - Camboriu Morro do Boi na SE Biguaçu – Eletrosul ..... | 121 |
| Figura 4-21: Esquema de Teleproteção com Cabo Dielétrico de FO.....                                                            | 123 |
| Figura 4-22: Esquema de Teleproteção com Cabo OPGW .....                                                                       | 124 |
| Figura 4-23: Diagrama Unifilar do Sistema de Comparação Direcional por Bloqueio .....                                          | 126 |
| Figura 4-24: Diagrama Unifilar do Sistema de Desbloqueio por Comparação Direcional....                                         | 127 |
| Figura 4-25: Diagrama Unifilar do Sistema de Transferência Direta de Disparo por Subalcance.....                               | 128 |
| Figura 4-26: Diagrama Unifilar do Sistema de Transferência Direta de Disparo com Subalcance Permissível .....                  | 129 |
| Figura 4-27: Diagrama Unifilar do Sistema de Transferência Direta de Disparo com Sobrealcance Permissível .....                | 130 |
| Figura 4-28: Diagrama Funcional e Unifilar do Painel de Proteção Principal – SE Desterro                                       | 135 |
| Figura 4-29: Relé Diferencial 87 da LT 230 kV Biguaçu – Desterro .....                                                         | 136 |
| Figura 4-30: Diagrama Unifilar de Medição e Proteção SE Desterro – 230 kV .....                                                | 138 |
| Figura 4-31: Funcionamento básico do SDSC .....                                                                                | 143 |
| Figura 4-32: Barramentos de comunicação IEC61850 e os níveis do SAS .....                                                      | 146 |
| Figura 5-1: Entradas das LT's 138kV na SE Coqueiros .....                                                                      | 148 |

|                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 5-2: Vão Rompido em Função do Incêndio no Ferro Velho..... | 150 |
|-------------------------------------------------------------------|-----|

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 2-1: Critérios de Avaliação das Alternativas locais                                                                                                                           | 31  |
| Tabela 2-2: Grau de criticidade / interferência das alternativas locais da LT Continente-Ilha com os principais aspectos ambientais e econômicos das obras. Índice = Valor x peso .. | 31  |
| Tabela 2-3: Justificativas e Datas de Início de Operação Comercial .....                                                                                                             | 35  |
| Tabela 3-1: Materiais Utilizados na Construção da Linha .....                                                                                                                        | 41  |
| Tabela 3-2: Propriedades dos Materiais .....                                                                                                                                         | 44  |
| Tabela 3-3: Principais Características dos Cabos Drake .....                                                                                                                         | 46  |
| Tabela 3-4: Características Técnicas dos Cabos Submarinos .....                                                                                                                      | 52  |
| Tabela 3-5: Características Técnicas dos Cabos Submarinos .....                                                                                                                      | 56  |
| Tabela 3-6: Características Técnicas dos Cabos 3/8"EAR.....                                                                                                                          | 57  |
| Tabela 3-7: Principais Características dos Cabos PETREL .....                                                                                                                        | 57  |
| Tabela 3-8: Características Técnicas Garantidas Cabo OPGW.....                                                                                                                       | 60  |
| Tabela 3-9: Características Cabo Para-Raios Ópticos LOOSE .....                                                                                                                      | 61  |
| Tabela 3-10: Características Técnicas Garantida Fibra Óptica .....                                                                                                                   | 62  |
| Tabela 3-11: Outras Características Técnicas Garantidas Cabo OPGW .....                                                                                                              | 62  |
| Tabela 3-12: Estrutura Circuito Simples. ....                                                                                                                                        | 66  |
| Tabela 3-13: Estruturas do Circuito Duplo. ....                                                                                                                                      | 66  |
| Tabela 3-14: Tabelas de Vão e Tensões das Estruturas. ....                                                                                                                           | 70  |
| Tabela 4-1: Comparação de Esquemas de Manobra .....                                                                                                                                  | 79  |
| Tabela 4-2: Características Técnicas dos PR's da LT 230 kV Biguaçu - Desterro.....                                                                                                   | 92  |
| Tabela 4-3: Características Técnicas dos TC's da LT Biguaçu - Desterro .....                                                                                                         | 94  |
| Tabela 4-4: Características Técnicas dos TPC's da LT Biguaçu – Desterro.....                                                                                                         | 96  |
| Tabela 4-5: Características Técnicas dos DJ's da LT Biguaçu – Desterro .....                                                                                                         | 99  |
| Tabela 4-6: Características Técnicas das Chaves Seccionadoras da LT Biguaçu - Desterro.                                                                                              | 101 |
| Tabela 4-7: Características Técnicas do Relé Multifuncional da LT Biguaçu - Desterro.....                                                                                            | 142 |

## SUMÁRIO

|          |                                                                                                           |           |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                                                                   | <b>17</b> |
| 1.1      | A FRAGILIDADE DO ABASTECIMENTO ENERGÉTICO DA ILHA DE SANTA CATARINA .....                                 | 21        |
| 1.2      | AS RESPONSABILIDADES.....                                                                                 | 23        |
| 1.3      | O SISTEMA APÓS O ACIDENTE .....                                                                           | 25        |
| <b>2</b> | <b>O SISTEMA ELETROENERGÉTICO DA ILHA DE SANTA CATARINA.....</b>                                          | <b>29</b> |
| 2.1      | PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO E ESTUDOS AMBIENTAIS PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DA ILHA DE SANTA CATARINA ..... | 29        |
| 2.2      | DECISÕES ADOTADAS PARA ABASTECIMENTO ELETROENERGÉTICO A ILHA DE SANTA CATARINA.....                       | 35        |
| <b>3</b> | <b>LT 230 KV BIGUAÇU - DESTERRO.....</b>                                                                  | <b>40</b> |
| 3.1      | FINALIDADE .....                                                                                          | 40        |
| 3.2      | CARACTERÍSTICAS GERAIS DA LT 230M KV BIGUAÇU - DESTERRO.....                                              | 40        |
| 3.2.1    | <b>Material .....</b>                                                                                     | <b>41</b> |
| 3.3      | CABOS CONDUTORES DA LT PARTE CONTINENTAL E INSULAR .....                                                  | 42        |
| 3.3.1    | <b>Finalidade .....</b>                                                                                   | <b>42</b> |
| 3.3.2    | <b>Características dos cabos condutores da LT parte continental e insular .....</b>                       | <b>43</b> |
| 3.4      | CARACTERÍSTICAS DO TRECHO DA LT SUBMARINO.....                                                            | 46        |
| 3.4.1    | <b>Subestação de Transição .....</b>                                                                      | <b>48</b> |
| 3.4.2    | <b>Características dos cabos condutores submarinos.....</b>                                               | <b>50</b> |
| 3.4.3    | <b>Características do cabo óptico submarino.....</b>                                                      | <b>54</b> |
| 3.5      | CABO PÁRA-RAIOS PARTE CONTINENTAL E INSULAR.....                                                          | 56        |
| 3.5.1    | <b>Cabo PETREL e 3/8”EAR .....</b>                                                                        | <b>57</b> |
| 3.5.2    | <b>Cabo OPGW.....</b>                                                                                     | <b>58</b> |
| 3.6      | CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAS DA LT BIGUAÇU-DESTERRO.....                                                    | 63        |
| 3.6.1    | <b>Torres e Estruturas.....</b>                                                                           | <b>63</b> |
| 3.6.2    | <b>Isoladores .....</b>                                                                                   | <b>71</b> |
| <b>4</b> | <b>AS EXTREMIDADES DA LT 230 KV BIGUAÇU - DESTERRO .....</b>                                              | <b>75</b> |
| 4.1      | CONFIGURAÇÃO DAS SE’S BIGUAÇU E DESTERRO .....                                                            | 76        |
| 4.1.1    | <b>Configuração da SE Biguaçu .....</b>                                                                   | <b>76</b> |

|                                                                                          |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>4.1.2 Configuração da SE Desterro .....</b>                                           | <b>77</b>  |
| <b>4.2 ESQUEMA ELÉTRICO E ARRANJO FÍSICO SE'S 230 KV .....</b>                           | <b>78</b>  |
| <b>4.2.1 Barra principal mais transferência (P-PT).....</b>                              | <b>81</b>  |
| 4.2.1.1 Vantagens .....                                                                  | 82         |
| 4.2.1.2 Desvantagens .....                                                               | 82         |
| <b>4.2.2 Barra Principal Seccionada mais Transferência (PST).....</b>                    | <b>83</b>  |
| 4.2.2.1 Vantagens .....                                                                  | 83         |
| 4.2.2.2 Desvantagens .....                                                               | 84         |
| <b>4.2.3 Barra dupla a quatro chaves (BD4C).....</b>                                     | <b>84</b>  |
| 4.2.3.1 Vantagens .....                                                                  | 85         |
| 4.2.3.2 Desvantagens .....                                                               | 86         |
| <b>4.2.4 Barra dupla a cinco chaves (BD5C) .....</b>                                     | <b>86</b>  |
| 4.2.4.1 Vantagem .....                                                                   | 87         |
| 4.2.4.2 Desvantagens .....                                                               | 87         |
| <b>4.2.5 Disjuntor e meio (DJ1/2) .....</b>                                              | <b>87</b>  |
| 4.2.5.1 Vantagens .....                                                                  | 88         |
| 4.2.5.2 Desvantagens .....                                                               | 89         |
| <b>4.3 MÓDULO DE MANOBRA – ENTRADA DE LINHA .....</b>                                    | <b>89</b>  |
| <b>4.3.1 Pára-raios (PR) .....</b>                                                       | <b>91</b>  |
| 4.3.1.1 Finalidade .....                                                                 | 92         |
| 4.3.1.2 Características Técnicas .....                                                   | 92         |
| <b>4.3.2 Transformador de Corrente (TC) .....</b>                                        | <b>93</b>  |
| 4.3.2.1 Finalidades .....                                                                | 93         |
| 4.3.2.2 Características Técnicas .....                                                   | 94         |
| <b>4.3.3 Transformador de Potencial Capacitivo (TPC) .....</b>                           | <b>95</b>  |
| 4.3.3.1 Finalidades .....                                                                | 96         |
| 4.3.3.2 Características Técnicas .....                                                   | 96         |
| <b>4.3.4 Disjuntores (DJ) .....</b>                                                      | <b>98</b>  |
| 4.3.4.1 Finalidade .....                                                                 | 98         |
| 4.3.4.2 Características Técnicas .....                                                   | 99         |
| <b>4.3.5 Chaves Seccionadoras (CS).....</b>                                              | <b>100</b> |
| 4.3.5.1 Finalidade .....                                                                 | 101        |
| 4.3.5.2 Características Técnicas .....                                                   | 101        |
| <b>4.4 A COMUNICAÇÃO ENTRE AS EXTREMIDADES DA LT 230 KV BIGUAÇU –<br/>DESTERRO .....</b> | <b>103</b> |

|                                                                                       |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>4.4.1 Relés de Proteção .....</b>                                                  | <b>106</b> |
| 4.4.1.1 Relé de Proteção Diferencial.....                                             | 110        |
| 4.4.1.2 Relé de Distância.....                                                        | 111        |
| 4.4.1.2.1 Relés de Impedância .....                                                   | 111        |
| 4.4.1.2.2 Relés de Admitância.....                                                    | 112        |
| 4.4.1.3 Relé de Sobretensão .....                                                     | 113        |
| 4.4.1.4 Relé Direcional de Sobrecorrente.....                                         | 113        |
| 4.4.1.5 Relé de Religamento .....                                                     | 115        |
| 4.4.1.6 Relé de Balanço de tensão.....                                                | 116        |
| 4.4.1.7 Relé de Bloqueio ou de Oscilação do Sistema .....                             | 116        |
| <b>4.5 TELEPROTEÇÃO NO SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA .....</b>                         | <b>117</b> |
| <b>4.5.1 Teleproteção a Rádio .....</b>                                               | <b>118</b> |
| <b>4.5.2 Teleproteção com OPLAT .....</b>                                             | <b>120</b> |
| <b>4.5.3 Teleproteção com Cabo Dielétrico de FO .....</b>                             | <b>122</b> |
| <b>4.5.4 Teleproteção com CABO OPGW .....</b>                                         | <b>124</b> |
| <b>4.5.5 Esquemas de Teleproteção .....</b>                                           | <b>125</b> |
| 4.5.5.1 Sistema de Bloqueio por Comparação Direcional.....                            | 126        |
| 4.5.5.2 Sistema de Desbloqueio por Comparação Direcional (CDD) .....                  | 127        |
| 4.5.5.3 Sistema de Transferência Direta de Disparo por Subalcance (DUTT).....         | 128        |
| 4.5.5.4 Sistema de Transferência de Disparo com Subalcance Permissível (PUTT) .....   | 129        |
| 4.5.5.5 Sistema de Transferência de Disparo com Sobrealcance Permissível (POTT) ..... | 130        |
| <b>4.6 TELEPROTEÇÃO DA LT 230 KV BIGUAÇU – DESTERRO.....</b>                          | <b>131</b> |
| <b>4.6.1 Relé Multifuncional 7SD52 .....</b>                                          | <b>136</b> |
| <b>4.6.2 Características Técnicas .....</b>                                           | <b>142</b> |
| <b>4.7 SISTEMA DIGITAL DE SUPERVISÃO E CONTROLE (SDSC).....</b>                       | <b>143</b> |
| <b>4.7.1 Arquitetura do SDSC .....</b>                                                | <b>144</b> |
| 4.7.1.1 Entre UAC's .....                                                             | 144        |
| 4.7.1.2 Entre UAC e equipamentos.....                                                 | 145        |
| <b>4.7.2 Norma IEC-61850 .....</b>                                                    | <b>145</b> |
| <b>5 CONCLUSÕES .....</b>                                                             | <b>147</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                                              | <b>152</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O grande objetivo de um sistema de energia elétrica é fornecer aos seus consumidores um produto com preços baixos sem comprometer quesitos importantes e indispensáveis, como qualidade e confiabilidade.

Para que a energia entregue seja considerada de qualidade há aspectos importantes que são padronizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), tais como:

- Continuidade, o sistema deve estar sempre disponível para as unidades consumidoras;
- Conformidade, são especificados parâmetros e valores de referência relativos à conformidade de tensão em regime permanente e às perturbações nas formas de onda de tensão;
- Flexibilidade, o sistema deve estar preparado para mudanças e ampliações;
- Manutenibilidade, o sistema deve estar preparado para atender cargas em situações de manutenção e obras e, ainda, estar preparado para retornar a operação o mais rápido possível em caso de necessidade.

Para que haja garantia destes quesitos, há necessidade de um planejamento sólido e eficaz dos sistemas de energia, utilizando tecnologias avançadas. O planejamento da necessidade energética envolve estudos de longo prazo, pois deve ser feito o monitoramento contínuo das características de consumo nos centros de carga, análises de aspectos econômicos, crescimento industrial e criar assim estimativas que atendam os consumidores de forma confiável e econômica.

É notório que o nível de desenvolvimento de uma cidade é diretamente proporcional ao seu consumo de energia elétrica. Segundo o Censo 2010, a Ilha de Santa Catarina, possui 421.240 habitantes. Por ser “*Um pedacinho de terra perdido no mar... beleza sem par*”, durante a temporada de verão o número de habitantes chega a dobrar. Para garantir o desenvolvimento da Ilha, o seu planejamento energético deve promover melhorias ao bem-estar da população e dos turistas, contribuindo assim, para o seu desenvolvimento. Deste modo, o objeto de estudo será a Linha de Transmissão (LT) 230 kV Biguaçu – Palhoça que pode-se dizer que é a “*espinha dorsal*” do Abastecimento Energético da Ilha de Santa Catarina.

O atendimento de energia elétrica na Ilha de Santa Catarina em 2003 era realizado pela concessionária Centrais Elétricas de Santa Catarina (Celesc). Nesta época havia duas linhas de transmissão em 138 kV, ambas partiam da subestação (SE) Palhoça da empresa Eletrosul Centrais Elétricas S.A. (Eletrosul), no município de Palhoça através de uma linha aérea em circuito duplo. O traçado seguia paralelo à BR-101 até as proximidades da SE Florianópolis também pertencente à Eletrosul. A partir deste ponto, as linhas passavam paralelas à Rodovia 282, Via Expressa, e chegavam a SE Coqueiros da Celesc, a qual permitia a conversão das estruturas das linhas de aéreas para subterrânea. Logo os dois circuitos saíam em cabos isolados e mergulhavam em galerias na Ponte Colombo Machado Salles, seguindo um dos circuitos subterrâneos até a SE Ilha Centro pertencente à Celesc. Já o outro circuito saía em direção à SE de transição da Celesc na Prainha, onde este circuito era convertido de subterrâneo em aéreo para então seguir até a SE Trindade, também da Celesc, localizada no bairro Córrego Grande. A figura 1-1 representa o atendimento eletroenergético da ilha em 2003.

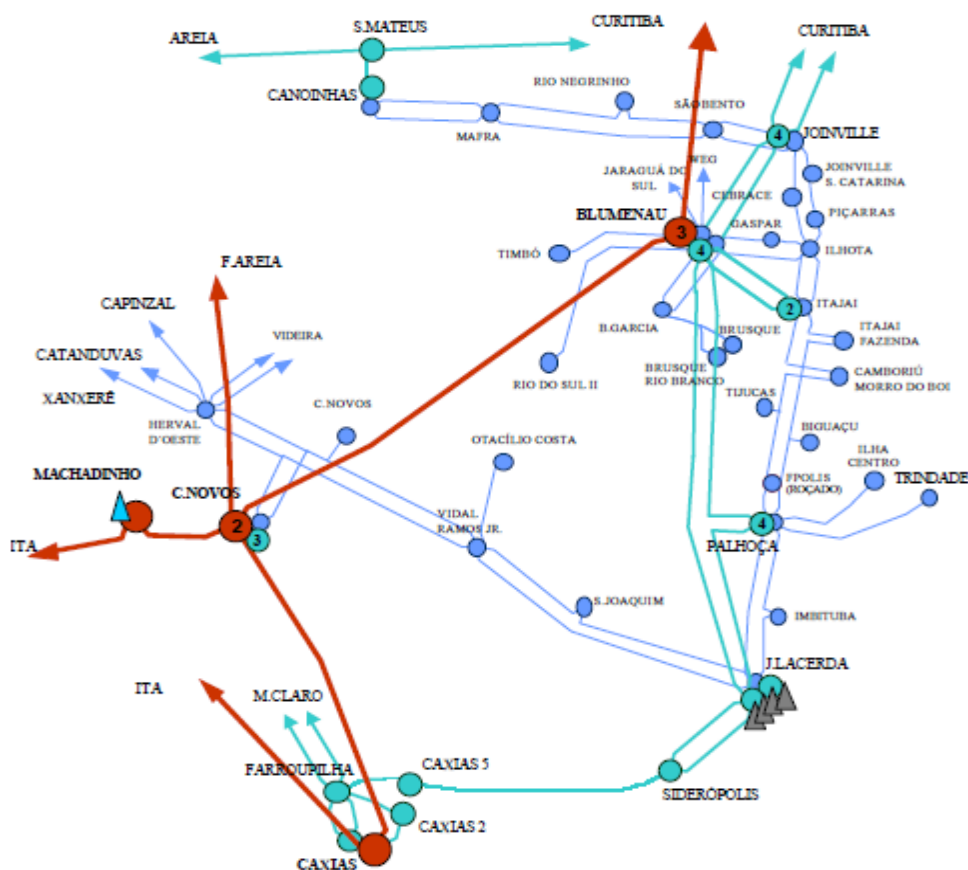


Figura 1-1: Rede de Transmissão e Distribuição: Santa Catarina Planalto e Litoral  
 Fonte: Atendimento Elétrico ao Estado de Santa Catarina: Planalto e Litoral –  
 ELETROSUL/CELESC/CCPE/ CTET/ 031.2003, p. 7.

Uma das linhas era constituída por cabo seco, com limite operacional de 600 A e potência de 145 MVA para carga leve e 160 MVA para carga pesada. Esta linha de transmissão (LT) atendia a SE Ilha Centro da Celesc, que possuía na época dois transformadores de 30/33 MVA, tendo assim apenas a metade da sua capacidade em utilização.

A outra linha possuía cabo a óleo com características e limites operacionais similares ao outro circuito. Esta linha atendia a SE Trindade da Celesc e possuía dois seccionamentos, um para atendimento da SE Ilha Norte e outro para atendimento da SE Ilha Sul. Em cada uma das subestações atendidas por esta linha de transmissão haviam na época instalados dois transformadores de 20/26 MVA, operando também com carga abaixo de sua capacidade nominal.

Em 2003 a potência total instalada na Ilha era próxima de 200 MVA, ou seja, as linhas atendiam perfeitamente a demanda exigida sem problemas com carregamento. Em momentos críticos, onde por algum motivo seria necessário o desligamento de uma das linhas, toda a carga que por ela era atendida podia ser remanejada para outra, devido a existência de uma chave seccionadora normalmente aberta (NA) instalada entre as linhas na SE Coqueiros, conforme diagrama da figura 1-2, e ainda, como já mencionado, ambas as linhas operavam abaixo do seu limite operacional.

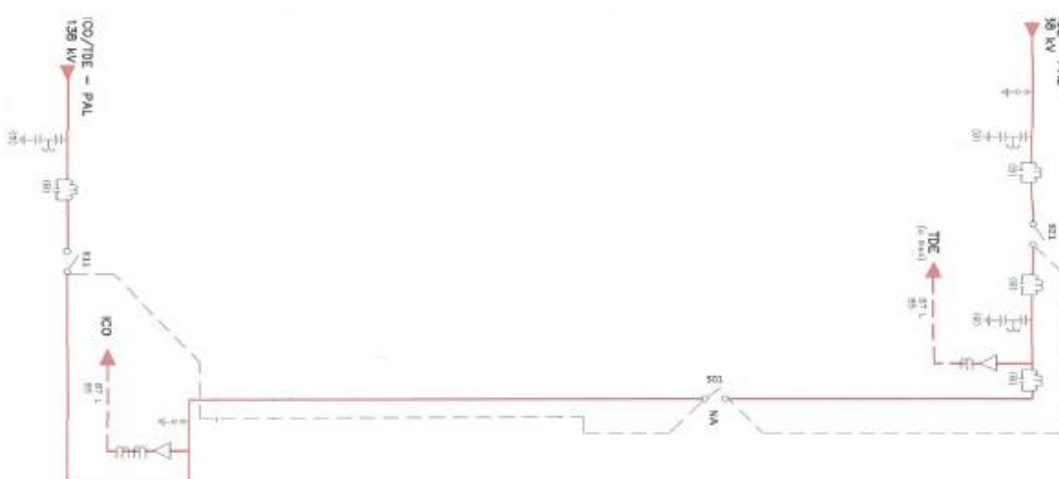


Figura 1-2: Diagrama Unifilar da Possibilidade de Manobra entre as Linhas de Transmissão.  
Fonte: Diagrama Elétrico Operacional – Celesc.

Contudo, apesar das linhas suprirem a demanda instalada na Ilha em 2003, o abastecimento de energia possuía uma grande fragilidade que é o fato de que as linhas

utilizavam o mesmo traçado e estruturas. Qualquer problema mais grave que pudesse acontecer na SE Palhoça ou em qualquer uma das linhas poderia acarretar no desligamento das duas, deixando assim toda a Ilha desenergizada.

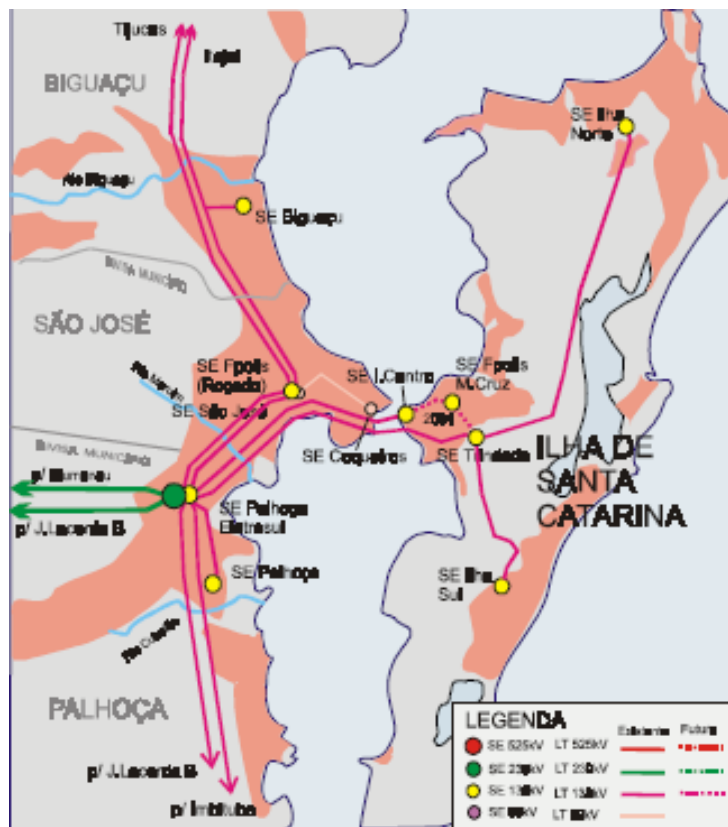


Figura 1-3: Rede de Transmissão e Distribuição: Ilha de Santa Catarina 2004

Fonte: Atendimento Elétrico à Ilha de Santa Catarina – ELETROSUL/CELESC/CCPE/CTET/ 010.2004, p. 9

A figura 1-3 nos mostra que o norte e o sul da ilha são alimentados radialmente pela Celesc em 138 kV, através das SE Ilha Norte e Ilha Sul. O fechamento do anel em 138 kV, aconteceria somente se a SE Mauro Ramos fosse implantada, permitindo assim, a interligação das SE's Trindade, Ilha Centro e Mauro Ramos com a SE Palhoça.

Percebendo a fragilidade do sistema, a Eletrosul em conjunto com a Celesc elaboraram em junho de 2003 um estudo intitulado como “Atendimento Elétrico ao Estado de Santa Catarina – Planalto e Litoral” (ELETROSUL/CELESC/CCPE/CTET/031.2003), elaborado no âmbito do Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos (CCPE), sobre a necessidade de melhoria no abastecimento energético no planalto e litoral de Santa Catarina. Neste estudo, foi apontada a necessidade da implantação de uma linha de transmissão que partiria da SE Palhoça e chegaria a uma nova subestação no sul da

ilha. Devido ao seu custo elevado em função da necessidade da construção de trechos de cabos subterrâneo e submarino, além da dificuldade de traçado, severas restrições ambientais e o alto nível de crescimento da região, foi definido que esta linha teria nível de tensão de 230kV. Esta definição garante uma elevada capacidade de transporte de energia comparando-se com o nível de tensão de 138kV.

Ainda, de acordo com o estudo, seria instalado na Ilha uma subestação de 230/138 kV de responsabilidade da Eletrosul que interligaria a nova linha ao sistema de transmissão da Celesc presentes na Ilha. A construção da linha e da subestação promoveria maior confiabilidade ao sistema elétrico de Florianópolis.

Para um futuro, estava previsto a construção de mais uma linha de transmissão também com cabo submarino que partiria da futura SE Biguaçu e alimentaria uma nova SE que seria instalada no norte da ilha. Esta interligação supriria o sistema no caso de uma sobrecarga na SE Palhoça.

## 1.1 A FRAGILIDADE DO ABASTECIMENTO ENERGÉTICO DA ILHA DE SANTA CATARINA

No dia 29 de outubro de 2003, uma equipe composta de cinco técnicos da Celesc foi designada para fazer uma manutenção considerada rotineira, para empresas que prestam serviços de engenharia, emendar em um dos alimentadores que passavam pela ponte Colombo Machado Salles.

“efetuar emendas em um cabo isolado de alumínio, de 400mm<sup>2</sup>, de um dos alimentadores de 13,8 kV (CQS-12), que havia sido recém instalado na ponte Colombo Machado Salles, em substituição ao cabo até então existente que foi danificado por uma descarga atmosférica em março de 2003, a qual causou danos ao seu isolamento elétrico...” (DOCUMENTOS ELETROSUL).

A manutenção consistia em duas etapas, sendo a primeira realizada fora da galeria da ponte e a segunda dentro da galeria. Por ser um espaço reduzido, a equipe decidiu “levar um maçarico alimentado por GLP (Gás Liquefeito de Petróleo), popularmente denominado ‘liquinho’, com a finalidade de efetuar a ‘solda’ daquela última emenda termocontrátil” (DOCUMENTOS ELETROSUL).

Quando um dos membros estava aquecendo uma das emendas, “surgiu fogo” entre os cabos e a parede. Os membros da equipe de manutenção tiveram a reação de fugir do local e abandonaram o ‘liquinho’ aceso, pois estavam sem equipamentos contra incêndio.

A ‘manutenção rotineira’ provocou um incêndio, e consequentemente, a interrupção do fornecimento de energia elétrica na parte insular de Florianópolis entre 13h30min, do dia 29/10/2003, e 20h30min, do dia 31/10/03, e 19h30min até as 23h, do dia 01/11/2003. O ocorrido atingiu cerca de 80% da população da Capital e a decretação do estado de emergência no Município de Florianópolis conforme o Decreto Municipal 2.067/03. Após 55 horas de trabalho de várias equipes de técnicos da Celesc e de outras concessionárias, regularizou-se o abastecimento de energia elétrica na Ilha de Santa Catarina.

## ANotícia

Joinville - Quinta-feira, 30 de Outubro de 2003 - Santa Catarina - Brasil

**Esperança**  
Alegria nas ruas de Videira. Ex-pedreiro se veste de palhaço para tentar ganhar a vida. GERAL



**Prevenção**  
Cerca de 600 pacientes renais participaram de encontro para trocar experiências e receber informações sobre tratamentos. AN\_CIDADE



# Capital enfrenta caos com apagão prolongado

- Florianópolis fica sem energia elétrica desde as 13h16 desta quarta. - Rompimento de cabo de alta tensão na ponte Colombo Salles causa blecaute.

**Cartão-postal**  
O apagão registrado em Florianópolis deixou a ponte Hercílio Luz semi-iluminada: a parte continental não foi afetada pela falta de energia. GERAL



RICARDO MEGA

**E**xplosão provocada por um botijão de gás de uma aparelho de solda rompeu um cabo de transmissão de energia elétrica sob a ponte Colombo Salles, às 13h16 de ontem, e deixou a Ilha de Santa Catarina sem energia. A interrupção transformou em caos a vida na parte insular de Florianópolis, com um congestionamento completo do trânsito, fechamento do comércio e paralisação dos serviços públicos. GERAL

Figura 1-4: Notícia sobre o apagão na Ilha de Santa Catarina

Fonte: <http://www1.an.com.br/2003/out/30/index.htm>

Como mostra a reportagem da figura 1-4, a Ilha de Santa Catarina ficou em caos. O apagão comprometeu várias atividades “devido à fragilidade do sistema de distribuição de energia elétrica” (DOCUMENTOS ELETROSUL).

## 1.2 AS RESPONSABILIDADES

Segundo o Ofício nº 941/2011 GABPR11-MPF/PR/SC, os relatórios das investigações referentes à causa do blecaute apontam como responsável pelo ocorrido a concessionária Celesc.

“apurou-se que a interrupção no fornecimento de energia elétrica decorreu do incêndio/explosão ocorrido justamente em virtude dos trabalhos de solda e emenda termocontrátil efetuados por funcionários da Celesc em um dos cabos de média tensão que passa no interior da ponte, e que operado o sinistro, seus efeitos deletérios não foram evitados...” (DOCUMENTOS ELETROSUL).

Além de responsabilizar a Celesc pelo acidente, os relatórios apontaram o descumprimento de normas de segurança de trabalho da empresa como: o não uso de equipamentos adequados para efetivação da emenda em locais confinados, a inobservância das advertências do fabricante das emendas, falta de um planejamento da atividade a ser executada, ausência da gestão e responsabilidade específica de cada membro da equipe, deficiência na capacitação para manuseios de equipamentos e psicológico dos técnicos para enfrentar uma situação de emergência.

Segundo documentos da empresa Eletrosul, a ANEEL elaborou uma relatório de fiscalização em âmbito administrativo com o objetivo de investigar as causas do blecaute. Porém o relatório foi criterioso quando analisou os aspectos técnicos diante ao Contrato de Concessão da Celesc com a ANEEL, pois a Celesc tinha o conhecimento prévio da fragilidade do sistema e não possuía um plano de emergência para o atendimento eletroenergético da Ilha de Santa Catarina.

“constatou-se que a Celesc tinha conhecimento prévio da fragilidade do sistema de transmissão de 138 kV para atendimento à Ilha de Santa Catarina tanto que estavam previstas obras de fechamento do anel de 138 kV dentro da ilha, bem como um novo suprimento. A fiscalização constatou que a interrupção no fornecimento de energia elétrica à Ilha de Santa Catarina ocorreu devido a não observância, por parte dos técnicos da Celesc, das normas e procedimentos da empresa para este tipo de manutenção e em decorrência disto ocorreu a explosão e a danificação dos cabos de

138 kV que atendem a Ilha. É importante também destacar que, a empresa não possuía um plano de emergência para o atendimento, à Ilha de Santa Catarina, no caso de perda de qualquer uma das linhas de 138 kV, apesar de ter conhecimento prévio que haveria corte de carga de até 120 MW neste situação” (DOCUMENTOS ELETROSUL).

O fato de os dois únicos sistemas de transmissão que abasteciam a Ilha de Santa Catarina, passarem pelo mesmo trajeto no interior da Ponte Colombo Machado Salles, a ANEEL alertou a concessionária de distribuição sobre o problema, sugerindo uma solução de ter uma alternativa pela ponte Pedro Ivo Campos. No planejamento quinquenal da Celesc, especificamente no ciclo 2003-2007, havia melhorias para o abastecimento eletroenergético da Ilha, com previsão de iniciar obras em fevereiro de 2004. Porém a Celesc não via o atendimento da Ilha como um problema.

Fazendo a ANEEL concluir que:

“Na avaliação da ocorrência de 29 de outubro de 2003, constatou-se que a Celesc tinha conhecimento prévio da fragilidade do sistema de transmissão de 138 kV para atendimento à ilha de Santa Catarina tanto que estavam previstas obras de fechamento do anel de 139 kV dentro da ilha, bem como de um novo suprimento... a empresa não possuía um plano de emergência para atendimento, à ilha de Santa Catarina, no caso de perda de qualquer uma das linhas de 138 kV, apesar de ter conhecimento prévio que haveria corte de carga de até 120 MW nesta situação.” (DOCUMENTOS ELETROSUL).

Diante dos fatos expostos completa-se que, a Celesc foi a responsável pelo acidente devido à duas deficiências no seu plano operacional e estratégico da empresa. A primeira deficiência, no âmbito operacional da empresa, ocorreu devido à associação consecutiva de erros durante a manutenção nos cabos de alta e média tensão no interior da ponte Colombo Machado Salles. Já a segunda, no setor estratégico da empresa, se deu pela falta de recursividade no seu plano estratégico ao atendimento à Ilha de Santa Catarina, deixando o sistema frágil e vulnerável, pois as linhas de transmissão que faziam a ligação entre Continente – Ilha passavam pelo mesmo ponto.

### 1.3 O SISTEMA APÓS O ACIDENTE

Após o fato ocorrido, o atendimento à Ilha de Santa Catarina e ao Litoral Catarinense foi proposto no Programa de Ampliações e Reforços (PAR), (2005-2007) elaborado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e no Programa Determinativo da Transmissão (PDET), (2004-2008), elaborado pelo CCPE.

Devido ao prolongado contingenciamento no suprimento à ilha de Florianópolis, em outubro de 2003, 79,5% da população da Capital Florianópolis ficou sem fornecimento de energia elétrica. Diversas atividades da Capital ficaram comprometidas, devido a fragilidade do sistema de distribuição de energia elétrica.

A Eletrosul e a Celesc, em conjunto com o CCPE, elaboraram, em março de 2004, o relatório ELETROSUL/CELESC/CCPE/CTET/010.2004 “Atendimento Elétrico à Ilha de Santa Catarina – Estudo Complementar”, detalhando os aspectos sistêmicos e econômicos, restrições físicas e ambientais envolvidas na implementação dos reforços necessários para atendimento à Ilha.

No dia 15 de março de 2005, em caráter emergencial, para o equacionamento da situação de atendimento à Ilha, a Eletrosul foi autorizada a “implantar reforços nas instalações de transmissão de energia elétrica, relacionadas, nos municípios de Palhoça, Florianópolis e Biguaçu, (SC), integrantes da rede básica do Sistema Interligado Nacional (SIN)”, através da Resolução Autorizativa ANEEL (REA) nº 096/2005. Na figura 1-5 é possível verificar o conjunto de empreendimentos denominado Sistema de Reforço Eletroenergético à Ilha de Santa Catarina e Litoral Catarinense, compreendia os seguintes reforços nas instalações:

- Implantação da SE Desterro 230/138 kV, com capacidade de transformação de 150 MVA;
- Implantação da SE Biguaçu 230/138 kV, com capacidade de transformação de 150 MVA;
- Seccionamento da LT 230 kV Jorge Lacerda B – Blumenau, com 35 km de extensão;
- Seccionamento da LT 138kV Florianópolis - Camboriú Morro do Boi, com 3 km de extensão;

- Implantação da LT 230kV Biguaçu-Palhoça, circuito duplo, com 17 km de extensão;
- Implantação da LT 230kV Palhoça - Desterro, circuito simples, com 40 km de extensão;
- Adequações na SE Palhoça para instalação de um autotransformador 230/138 kV de 150 MVA;

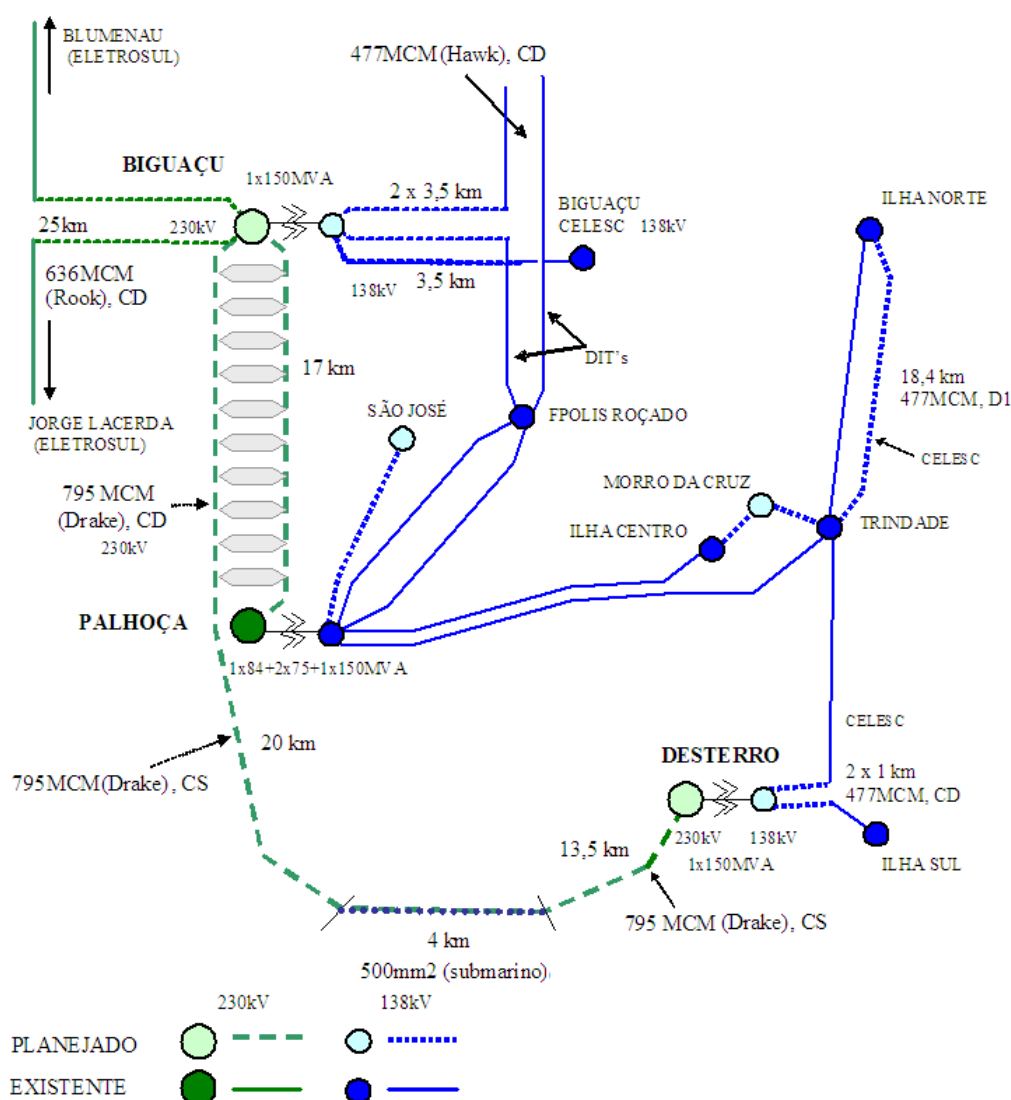


Figura 1-5: Esquema Elétrico Simplificado com os Reforços nas Instalações.

Fonte: R2- Detalhamento da alternativa LT 230kV Biguaçu-Florianópolis Ilha e SE 230/138kV Florianópolis Ilha.

Além de aumentar a confiabilidade no atendimento eletroenergético do Litoral Catarinense e da Ilha de Santa Catarina, minimizou-se a ocorrência de sobrecarga no Sistema. Os objetivos para implantação deste reforço compreende atender a demanda atual e futura do mercado de energia, conectar a Ilha de Santa Catarina à Rede Básica do SIN e prover uma nova fonte de abastecimento energético. Com isto, foi criada a possibilidade do fechamento do circuito em anel, permitindo maior continuidade, conformidade, flexibilidade e manutenibilidade e consequentemente, maior recursividade de manobra para o Sistema.

No decorrer do ano de 2005, o andamento dos empreendimentos para o atendimento à Ilha ficou comprometido, devido à interferência dos Ministérios Público Federal e Estadual, em relação à competência do órgão ambiental licenciador, pelo fato do empreendimento ter um trecho com travessia marítima. Assim, os processos de obtenção das licenças ambientais para iniciar a construção das subestações, Desterro e Biguaçu, sofreram grandes atrasos. Portanto as obras não foram iniciadas em 2005, comprometendo as datas de energização definidas pela ANEEL.

Somente em 2006, chegou-se a definição de que a condução do processo caberia ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e não à Fundação do Meio Ambiente (FATMA). Após as audiências públicas realizadas no final de março do ano corrente, o IBAMA e os demais órgãos envolvidos solicitaram complementações aos estudos ambientais já realizados, acarretando novos atrasos para dar início às obras.

Em março de 2007, o órgão ambiental liberou a Licença de Instalação (LI) para as obras da parte continental, ou seja, implantação da SE Biguaçu e as ampliações na SE Palhoça, porém o órgão não emitiu a LI para as obras pertencentes à parte insular do projeto.

Em abril de 2007, o IBAMA emitiu, após dois anos do pedido, a Licença ambiental Prévia (LP), que atestava a viabilidade ambiental do empreendimento, para a parte insular, porém ainda era necessária a LI para dar início às obras para o atendimento à ilha.

Somente em agosto de 2007, o IBAMA liberou a LI para início das obras nas SE Desterro e do trecho insular da LT 230 kV Biguaçu - Desterro, com as suas correspondentes energizações em dezembro de 2008.

As obras de ampliação do abastecimento elétrico, implantação da SE Desterro e SE Biguaçu, três ampliações da Subestação Palhoça, implantação das LT 230 kV Biguaçu - Palhoça, com 17 km de extensão, e LT 230 kV Biguaçu-Desterro, com 57 km de extensão,

sendo 4 km de cabos submarino, reforçaram a capacidade de abastecimento energético da região de 140 MW para 290 MW.

Portanto, o referido reforço energético na Ilha de Santa Catarina, possibilitou a sua interligação com a Rede Básica do Sistema Interligado Nacional (SIN), suprimindo a sensibilidade do abastecimento e reduzindo os riscos de blecautes como o que ocorreu em outubro de 2003.

A partir dos dados expostos e por termos vivenciado as conseqüências do blecaute na Ilha de Santa Catarina, o presente trabalho de conclusão de curso, têm como objetivo principal verificar a recursividade de manobra para o abastecimento eletroenergético da Ilha de Santa Catarina e a viabilidade técnico-econômica da alternativa de alimentação eletroenergético para a Ilha de Santa Catarina.

No decorrer deste trabalho, serão apresentadas as causas do blecaute na Ilha de Santa Catarina em outubro de 2003, a solução proposta pela Eletrosul e Celesc para resolver o problema de abastecimento eletroenergético, as características elétricas e mecânicas da LT 230 kV Biguaçu – Desterro e as melhorias e previsões de aumento de carga no sistema elétrico da Ilha de Santa Catarina.

Deste modo, a metodologia utilizada pelas autoras, será um estudo de caso, da LT 230 kV Biguaçu-Desterro, baseados em documentos técnicos das empresas envolvidas com os estudos e execução da linha de transmissão. A base teórica será a partir de pesquisa bibliográfica, como livros, artigos e materiais disponibilizados na internet.

## **2 O SISTEMA ELETROENERGÉTICO DA ILHA DE SANTA CATARINA**

A necessidade da ampliação do sistema de transmissão de Energia na Ilha de Santa Catarina ficou evidenciada conforme o estudo realizado em 2003 pela Celesc e Eletrosul, sendo ainda, reforçada pela ocorrência acidental nos cabos de transmissão de energia que atendia a Ilha em 2003, deixando toda a população sem energia por aproximadamente 55 horas.

Em caráter emergencial a ANEEL exigiu solução para esta condição vulnerável em que a Ilha se apresentava, autorizando assim, a Eletrosul implantar reforços nas instalações de transmissão e a Celesc na distribuição.

### **2.1 PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO E ESTUDOS AMBIENTAIS PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DA ILHA DE SANTA CATARINA**

Para a implantação do reforço eletroenergético na Ilha de Santa Catarina, houve a necessidade de adequação do projeto às questões sócio-ambientais, onde a Eletrosul promoveu contatos, consultas, análises e vistorias com instituições ambientais e ainda apresentação do empreendimento às populações afetadas ou envolvidas.

Baseando-se em legislações vigentes foi realizado um Estudo de Impacto Ambiental (EIA) com o objetivo de obter um diagnóstico da área afetada e para subsidiar o pedido da Licença Prévia (LP). No EIA, estava previsto um conjunto de empreendimentos necessários para o atendimento no litoral catarinense, envolvendo as regiões de Blumenau, Tijucas e Capivari de Baixo. Porém estes empreendimentos não serão abordado neste trabalho, somente os relacionados ao atendimento à Ilha de Santa Catarina.

O conjunto de atendimento à Ilha seria composto pela construção de uma subestação denominada Florianópolis Ilha e uma linha de transmissão, denominada Palhoça – Florianópolis Ilha, ambas com classe de tensão de 230 kV. Esta LT seria constituída por três trechos distintos, um continental, um submarino e outro insular.

No momento da análise para implantação da LT foram previstos três possibilidades, são elas:

- Corredor Norte: linha que partiria da SE Biguaçu com estruturas aéreas, cortando pastagens, Terras Indígenas e a Área de Preservação Ambiental de Anhatomirim. A parte submarina de, aproximadamente, 7,7 km atravessaria a Baía dos Golfinhos e, na parte da Ilha, também seria com estruturas aéreas, cortando a Estação Ecológica dos Carijós e a área tombada como patrimônio histórico na Ponta do Sambaqui. Esta linha conectaria a uma nova SE denominada Ratoles. O valor estimado para execução desta obra na época sera de R\$ 155.386.000, 00 (EIA, p. 9);

- Corredor Central: linha de transmissão que partiria igualmente a anterior da SE Biguaçu, passando por área densamente povoadas nos municípios de São José e Florianópolis, com um pequeno trecho de travessia submarina, aproximadamente 1 km próximo às pontes. Na parte insular, a linha percorreria o Centro de Florianópolis subterrânea, voltando a ficar aéreo próximo a nova SE Saco dos Limões que seria construída. O custo que inicialmente estava previsto para esta obra era de R\$ 159.447.000,00 (EIA, p. 10);

- Corredor Sul: linha que iniciaria da SE Biguaçu, cortando parte urbanizada da Palhoça, contornando o Parque da Serra do Tabuleiro e passando ainda perto de Comunidades Indígenas. O trecho submarino teria, aproximadamente, 4,2 km de extensão e chegaria ao Sul da Ilha de Santa Catarina, onde a linha voltaria a ser composta por estruturas aéreas, passando pelo centro histórico do Ribeirão da Ilha. O custo previsto para esta obra era de R\$ 142.000.000,00 (EIA, p. 10).

Foram levados em consideração vários fatores para a determinação da melhor alternativa, para que esta, assim que adotada, provocasse o menor impacto sócio-ambiental. Entre os fatores analisados destacam-se:

- Presença de áreas indígenas;
- Presença de sítios arqueológicos;
- Unidades de Conservação;
- Vegetação;
- Ocupação Urbana;
- Estradas de Acesso;
- Recursos Hídricos;
- Interferência com a Paisagem;

- Travessia Marítima;
- Viabilidade Técnica e
- Custo da Obra.

Para que fosse possível avaliar qual das alternativas seria mais viável para a construção da LT, considerando a criticidade dos aspectos acima relacionados, foram estipulados valores arbitrários aos diferentes graus e pesos, conforme tabela que seriam atribuídos a cada trecho, conforme mostram as tabelas 2-1 e 2-2.

Tabela 2-1: Critérios de Avaliação das Alternativas locais

| Graus de Interferência ou Criticidade | Valores | Importância do Fator | Pesos |
|---------------------------------------|---------|----------------------|-------|
| Muito Alto                            | 40      | Muito Alto           | 4     |
| Alto                                  | 30      | Alto                 | 3     |
| Médio                                 | 20      | Médio                | 2     |
| Baixo                                 | 10      | Baixo                | 1     |
| Nulo                                  | 0       | Nulo                 | 0     |

Fonte: Estudo de Impacto Ambiental - Reforço Eletroenergético à Ilha de Santa Catarina e Litoral Catarinense, p. 13

Tabela 2-2: Grau de criticidade / interferência das alternativas locais da LT Continente-Ilha com os principais aspectos ambientais e econômicos das obras. Índice = Valor x peso

| Aspectos Ambientais               | Peso dos Impactos | Corredor Norte |        | Corredor Central |        | Corredor Sul |        |
|-----------------------------------|-------------------|----------------|--------|------------------|--------|--------------|--------|
|                                   |                   | Grau           | Índice | Grau             | Índice | Grau         | Índice |
| Áreas Indígenas                   | 4                 | Médio          | 80     | Baixo            | 40     | Baixo        | 40     |
| Patrimônio Histórico              | 4                 | Médio          | 80     | Baixo            | 40     | Baixo        | 40     |
| Unidades de Conservação           | 4                 | Alto           | 120    | Baixo            | 40     | Médio        | 80     |
| Vegetação                         | 4                 | Alto           | 120    | Baixo            | 40     | Médio        | 80     |
| Ocupação Urbana                   | 4                 | Baixa          | 40     | Muito Alto       | 160    | Médio        | 80     |
| Estradas de Acesso                | 2                 | Médio          | 40     | Médio            | 40     | Médio        | 40     |
| Recursos Hídricos (APP)           | 1                 | Médio          | 20     | Médio            | 20     | Médio        | 20     |
| Interferência com a Paisagem      | 2                 | Alto           | 60     | Alto             | 60     | Alta         | 60     |
| Travessia Marítima                | 3                 | Muito Alto     | 120    | Alto             | 90     | Médio        | 60     |
| Viabilidade Técnica (dificuldade) | 3                 | Média          | 60     | Alto             | 90     | Médio        | 60     |

## UNISUL – Universidade do Sul de Santa Catarina

| Aspectos Ambientais  | Peso dos Impactos | Corredor Norte |        | Corredor Central |        | Corredor Sul |        |
|----------------------|-------------------|----------------|--------|------------------|--------|--------------|--------|
|                      |                   | Grau           | Índice | Grau             | Índice | Grau         | Índice |
| <b>Total Parcial</b> |                   |                | 740    |                  | 620    |              | 560    |
| <b>Custo</b>         | 3                 | Alto           | 90     | Muito Alto       | 160    | Baixo        | 30     |
| <b>Total</b>         |                   |                | 830    |                  | 880    |              | 590    |

Fonte: Estudo de Impacto Ambiental - Reforço Eletroenergético à Ilha de Santa Catarina e Litoral Catarinense, p. 13

No final da análise, somaram-se os valores atribuídos a cada aspecto em cada trecho e concluiu-se que a rota centro teria grandes restrições socioeconômicas e grandes dificuldades técnicas, se tornando a menos viável. A rota norte teria maior índice de impactos socioambientais, tornando assim, a rota sul a melhor opção, pois embora seu traçado interfira no Parque da Serra do Tabuleiro, o índice de impacto socioambiental foi considerado médio, por não atravessar parque, passando somente pela borda e tendo uma faixa de segurança reduzida devido a LT ficar paralela a outra já existente.

Mediante as conclusões EIA, foi expedido o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), que é um documento público onde se apresenta a população afetada em forma de Audiência Pública o empreendimento com seus impactos e propostas para amenização dos mesmos.

O EIA/RIMA considerou como solução para a fragilidade no sistema de transmissão de energia da Ilha a terceira opção, Corredor Sul. Esta alternativa já havia sido levada em consideração em 2003 quando a Eletrosul e a Celesc elaboraram o estudo sobre o “Atendimento no Estado de Santa Catarina: Planalto e Litoral - ELETROSUL/CELESC/CCPE 031.2003”.

O estudo apresentava uma alternativa para a implantação dos reforços, ao qual atenderia o litoral catarinense a partir de Campos Novos, proporcionando um melhor atendimento elétrico ao Planalto e Litoral do Estado de Santa Catarina, além de estabelecer intercâmbios elevados entre as regiões Sul e Sudeste. Ao apresentar à alternativa, o EIA/RIMA fez recomendações de implantação de novos empreendimentos às redes de transmissão e distribuição, para concretizar esta alternativa em longo prazo 2004-2012.

A figura 2-1, mostra a nova configuração proposta pelo estudo ELETROSUL/CELESC/CCPE 031.2003 deixa o Sistema Elétrico do Estado de Santa Catarina, mais confiável na rede de 525 kV, pois é incluída uma nova LT 525 kV Blumenau – Biguaçu – Campos Novos, e uma nova subestação no município de Biguaçu, possibilitando maior sustentação no atendimento à região Sul do Estado. Cabe resaltar que o estudo também

previa a necessidade de uma LT 230 kV Palhoça – Florianópolis Ilha e uma SE 230/138 kV Florianópolis Ilha, já para o ano de 2004 (p. 124).

No entanto, em outubro de 2003, houve um prolongado contingenciamento no suprimento eletroenergético da Ilha de Santa Catarina, tornando necessário agilizar as providências para a implantação de seu reforço em 230 kV. A solução apontada pelo estudo ELETROSUL/CELESC/CCPE/CTET/031.2003 para a LT 230 kV Palhoça – Florianópolis Ilha é por travessia marítima, ou seja, seria construída por trechos com cabos aéreos e trecho de cabo subterrâneo ou submarino. Permitindo assim, uma nova alternativa de abastecimento eletroenergético à Ilha de Santa Catarina, diferente da já existente.

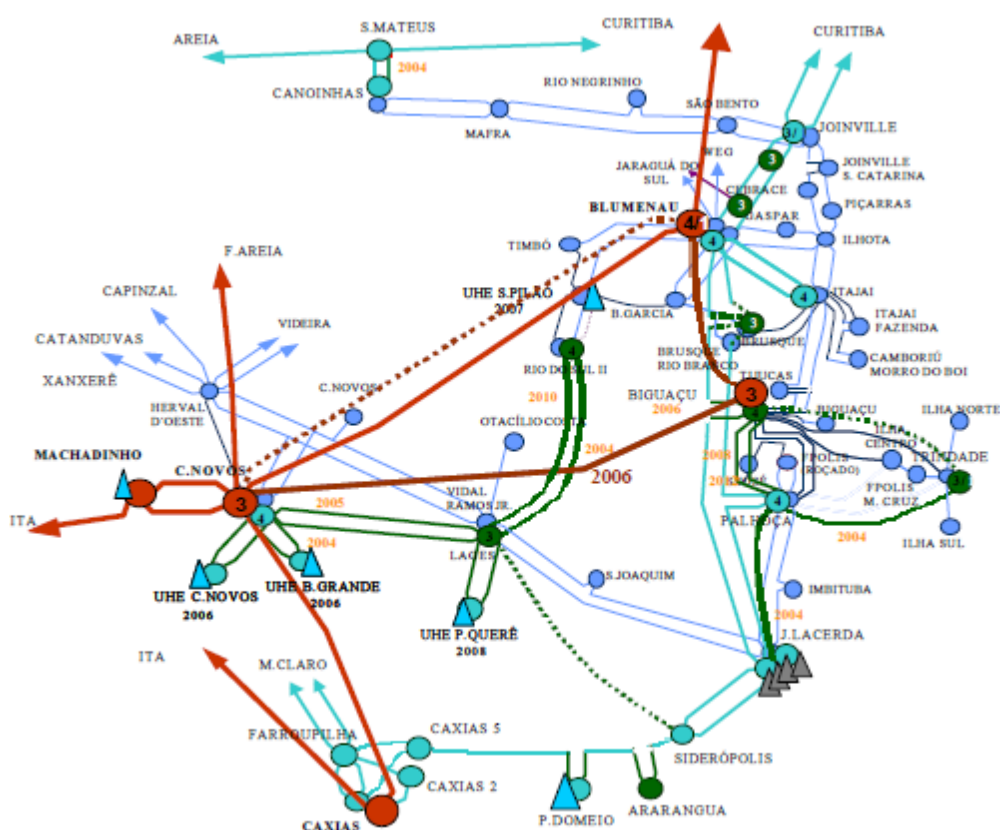


Figura 2-1: Ano 2020 – alternativa B

Fonte: ELETROSUL/CELESC/CCPE 031.2003, p. 108

Contudo, em março de 2004, as concessionárias Eletrosul e Celesc, em conjunto, apresentaram o estudo complementar “Atendimento Elétrico à Ilha de Santa Catarina – Estudo Complementar – ELETROSUL/CELESC/CCPE /CTET/010.2004”, para definir a rota a ser utilizada pela linha 230 kV e a localização da Subestação Florianópolis Ilha.

Igualmente ao estudo ELETROSUL/CELESC/CCPE/CTET/031.2003, o estudo complementar também indica a necessidade de novos reforços no sistema de transmissão que atende a Ilha já a partir de 2005 e define a localização da SE Florianópolis Ilha na região de Campeche bem como o traçado da linha pela Rota Sul, tendo um trecho marítimo de aproximadamente 4 km.

“Este estudo aponta restrições ao atendimento elétrico a ilha de Santa Catarina, a partir de 2005, causadas por emergências em um dos circuitos de 138 kV que atendem a Ilha, indicando a necessidade de reforçar o sistema de transmissão nesta data, para propiciar o atendimento ao mercado local com a mesma qualidade e confiabilidade dos padrões atuais do sistema interligado nacional”. (ELETROSUL/CELESC/CCPE /CTET/010.2004 - p. 60)

Se não concretizado o reforço previsto no estudo ELETROSUL/CELESC/CCPE /CTET/010.2004, o mesmo enfatiza que:

“Caso o reforço previsto não seja implantado, o sistema de transmissão apresenta violações dos limites de carregamento em contingências, apresentando sobrecargas inadmissíveis no sistema de atendimento a ilha de Santa Catarina a partir de 2005, e também nas linhas de 138 kV entre Biguaçu e Palhoça (2008-2012) e na transformação 230/138 kV da SE Palhoça (2012) apontando necessidade de reforço”. (ELETROSUL/CELESC/CCPE /CTET/010.2004 - p. 13)

Deste modo, em caráter emergencial devido à possibilidade de novos blecautes na Ilha de Santa Catarina e também como solução imediata, a Eletrosul decide implantar, primeiramente, a LT 230 kV Palhoça – Florianópolis Ilha e a SE Florianópolis Ilha para não haver mais riscos de novos blecautes na Ilha, que prejudicaria a sociedade que nela reside. Uma consequência da implantação desta LT 230 kV é a readequação do arranjo da SE Palhoça para barra dupla a quatro chaves, para ter o mesmo nível de confiabilidade e flexibilidade da SE Biguaçu, até então planejada.

Entretanto para implantação de novos empreendimentos, é necessário que as concessionárias que oferecem serviços de transmissão de energia elétrica façam uma solicitação à ANEEL. Os empreendimentos só podem ser iniciados após a publicação da ANEEL no diário oficial (DO), esta autorização se dá através de Resoluções Autorizativas ANEEL (REA).

## 2.2 DECISÕES ADOTADAS PARA ABASTECIMENTO ELETROENERGÉTICO A ILHA DE SANTA CATARINA

O ano de 2004 foi um ano de muitas negociações e estudos com o objetivo de resolver as condições críticas de atendimento à Ilha de Santa Catarina. Os órgãos que participaram das tratativas foram os Ministérios Público Federal, Ministério Público do Estado de Santa Catarina, Ministério de Minas e Energia (MME), ANEEL, Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), Eletrosul e Celesc.

A solicitação de pedido de autorização por parte da Eletrosul foi emitida para a ANEEL no dia 02 de fevereiro de 2005, através da carta CE DT-0007/2005, o documento intitulado “Sistema de Atendimento à Ilha de Santa Catarina e Litoral Catarinense” em resposta ao Ofício 013/2005-SRT/ANEEL, de 28 de janeiro de 2005, solicitando à Eletrosul informações necessárias para o ato autorizativo referentes aos empreendimentos previstos no estudo ELETROSUL/CELESC/CCPE/CTET/010.2004 (Relatório do processo 48500.004462/04-16).

Em 15 de março de 2005, a ANEEL autoriza a Eletrosul a implantar os reforços em instalações de transmissão integrantes do SIN, com entrada de operação conforme tabela 2-3.

Tabela 2-3: Justificativas e Datas de Início de Operação Comercial

| Obra/Instalação                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Justificativa                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Data de Necessidade | Previsão |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------|
| <b>SE Palhoça 230 kV</b> - Aquisição e instalação do 4º autotransformador trifásico 230/ 138/ 13,8kV de 150 MVA na subestação, um módulo de conexão em 230kV arranjo barra principal e transferência e uma conexão em 138kV arranjo barra principal e transferência para o autotransformador (ATF4). | A subestação Palhoça 230/138 kV é um dos principais pontos de atendimento à área leste do estado de Santa Catarina, sendo responsável pelo atendimento da Região Metropolitana de Florianópolis. A implantação do 4º transformador 230/ 138kV e a adequação do arranjo físico da subestação permitirá que a região da Grande Florianópolis continue sendo atendida sem cortes de carga, mesmo em contingência de um dos transformadores da SE Palhoça. | DEZ/2004            | JAN/2006 |
| <b>SE Palhoça</b> - Adequação do arranjo físico dos barramentos em 230kV de barra principal e transferência para barra dupla a quatro chaves                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | DEZ/2004            | NOV/2006 |
| <b>SE Florianópolis Ilha 230 kV</b> - Instalação de um autotransformador trifásico AT1 230/138/13,8 kV, de 150 MVA e conexões                                                                                                                                                                        | A implantação da SE Florianópolis Ilha tem como objetivo o suprimento ao mercado                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | NOV/2006            | MAI/2006 |

## UNISUL – Universidade do Sul de Santa Catarina

| Obra/Instalação                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Justificativa                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Data de Necessidade | Previsão |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------|
| associadas (1 conexão de transformador 230 kV e outra em 138 kV, 1 interligação de barras 230 kV, 1 entrada de linha 230 kV para a LT Palhoça – Florianópolis Ilha, com arranjo barra dupla 4 chaves, 2 entradas de linha 138 kV e uma interligação de barras 138 kV.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | da Ilha de Santa Catarina em função das sobrecargas verificadas nos circuito de 138 kV existentes que atendem a ilha através da Ponte Colombo Salles, em situação de contingência.                                                                                                                                              |                     |          |
| <b>SE Palhoça 230 kV</b> - Instalação de 1 módulo de linha 230kV arranjo principal e transferência para a linha de transmissão Biguaçu – Palhoça.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | NOV/2006            | MAI/2006 |
| <b>LT 230 kV Palhoça – Florianópolis Ilha</b> , Construção da LT 230kV com 40km de extensão, circuito simples, composta de três trechos: trecho 1 circuito aéreo no continente, com 20km de extensão, condutor tipo CAA 1x795 MCM “Drake”, trecho 2 circuito submarino entre o continente e a Ilha de Santa Catarina, com 4km de extensão um cabo condutor 300mm <sup>2</sup> por fase e o trecho 3 circuito aéreo na Ilha de Santa Catarina com 16km de extensão condutor tipo CAA 1x795 MCM “Drake”.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | NOV/2006            | MAI/2006 |
| <b>SE Biguaçu 230 kV</b> - Implantação em 230kV de: 2 entradas de linha arranjo barra dupla para as linhas de transmissão Biguaçu-Desterro e Biguaçu-Palhoça, módulos de linha para os 2 circuitos da LT Jorge Lacerda B-Blumenau, 1 módulo de interligação de barramentos arranjo barra dupla, um módulo de conexão arranjo barra dupla para o autotransformador trifásico ATF6 230/138-13,8kV e 1 módulo geral em 230kV arranjo barra dupla, implantação de um autotransformador 230/138-13,8 kV, 150MVA, instalação de 1 módulo de conexão em 138kV arranjo barra dupla para o ATF6. Compreende também em 138kV a instalação de 3 módulos de entrada de linha arranjo barra dupla para os 2 circuitos da LT Biguaçu-Florianópolis/ Camboriú Morro do Boi e a LT Biguaçu-CELESC e 1 módulo de interligação de barramentos. | A implantação da subestação Biguaçu tem como objetivo minimizar os elevados carregamentos que ocorrem na linha de 138kV de Itajaí – Tijucas e na linha em 230kV Blumenau – Itajaí. Este empreendimento consta do “Plano de Ampliações e Reforços da Rede Básica – Período 2005 – 2007 –PAR” e do estudo DO CCPE/ CTET.010.2004. | FEV/2006            | AGO/2006 |
| <b>LT 230kV Jorge Lacerda B - Blumenau</b> - Seccionamento da LT 230kV Jorge Lacerda B - Blumenau para implantação do trecho que conectará a subestação Biguaçu, com 25km de extensão, circuito duplo, condutor tipo CAA 1x636 MCM “Grosbeak”.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | FEV/2006            | AGO/2006 |
| <b>LT 138kV Florianópolis – Camboriú Morro do Boi</b> - Seccionamento da LT 138kV Florianópolis - Camboriú Morro do                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | FEV/2006            | AGO/2006 |

## UNISUL – Universidade do Sul de Santa Catarina

| Obra/Instalação                                                                                                                                       | Justificativa | Data de Necessidade | Previsão |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------|----------|
| Boi para implantação do trecho que conectará a subestação Biguaçu, com 3km de extensão, circuito duplo, condutor tipo CAA 1x4776 MCM “Hawk”.          |               |                     |          |
| <b>LT 230kV Biguaçu-Palhoça</b> - Construção da linha de transmissão 230kV com 17km de extensão, circuito duplo, condutor tipo CAA 1x795 MCM “Drake”. |               | FEV/2006            | AGO/2006 |

Fonte: REA - RESOLUÇÃO AUTORIZATIVA Nº 096 de 07/03/2005 publicado em 15/03/2005

Com a REA 096/2005 e o RIMA em mãos, a Eletrosul, começa a elaborar o planejamento de implantação dos empreendimentos, iniciando com os pedidos de Licença Prévia (LP) para implantação dos mesmos.

Esta LP aprova a viabilidade ambiental do projeto e autoriza sua localização e concepção tecnológica, estabelecendo as condições a serem consideradas no desenvolvimento do projeto executivo, levando em consideração as medidas preventivas que minimizassem o impacto ambiental no decorrer da implantação da LT e da SE estabelecidas pelo RIMA. Dentre as medidas ficam em destaque as seguintes:

- Assentamento de torres e subestações em locais mais propícios;
- Proibição de queimada ou uso de desfolhante;
- Conscientização ambiental do pessoal envolvido na implantação dos sistemas;
- Acompanhamento arqueológico;
- Recuperação de paisagens;
- Minimização dos impactos junto ao Parque Estadual Serra do Tabuleiro;
- Preservação do leito da Baía Sul, devido à utilização do cabo submarino.

O cumprimento das exigências da LP é o primeiro passo para conseguir a Licença de Instalação (LI). E para autorização do início da obra é necessário fazer um Plano Ambiental. Para os empreendimentos que envolvem desmatamento como o caso das implantações da LT's 230 kV Biguaçu – Palhoça, Palhoça – Desterro, é necessário também a elaboração do Inventário Florestal, para auxiliar a decisão sobre o deferimento da Autorização de Supressão de Vegetação

Por fim, antes dos empreendimentos entrarem em operação é necessário ter a Licença de Operação (LO). Para dar o início ao seu funcionamento a concessão está aliada às vistorias nas obras, a fim de verificar se todas as exigências ambientais e detalhes técnicos previstos na LP, LI e RIMA estão sendo executados de acordo com o planejado.

Além das medidas preventivas que minimizassem o impacto ambiental, foi apresentada uma proposta de compensação ambiental em cumprimento da Lei nº9.985/2000 e seu decreto regulamentador nº 4.340/2002, que prevê medidas compensatórias por danos ambientais causados aos ecossistemas, onde o empreendedor deve reservar um montante de 0,5% do recurso destinado aos empreendimentos. No caso do atendimento eletroenergético da Ilha, o RIMA almeja:

“Pretende-se aplicar o montante dos recursos referentes a compensação ambiental nas três unidades de conservação situadas mais próximas ao empreendimento, sendo elas: Parque Estadual da Serra do Tabuleiro, Parque municipal da Lagoa do Peri e Reserva Extrativista Marinha do Pirajubaé” (Relatório de impacto ambiental, capítulo V, Reforço Eletroenergético à Ilha de Santa Catarina e Litoral Catarinense, Eletrosul, p. 133).

O RIMA sugeriu os seguintes programas como forma de compensação ambiental:

- Programa de Recolhimento de Resíduos Sólidos;
- Plano de Supressão Controlada da Vegetação;
- Programa de Controle de Processos Erosivos, Escorregamento e Assoreamento dos Cursos de Água;
- Programa de Recuperação de Áreas Degradadas;
- Programa de Preservação do Patrimônio Arqueológico;
- Programa de Educação Patrimonial;
- Programa de Prevenção à Erosão na Praia de Fora;
- Plano de Monitoramento das Águas da Baía Sul;
- Plano de Monitoramento Morfo-Sedimentar;
- Programa de Monitoramento da Comunidade Bentônica;
- Programa de Comunicação Social e Institucional.

Por ser uma obra com diversas complicações ambientais, por passar por trechos marítimos e de grande vegetação nativa, houve um atraso na liberação da LI. Somente em março de 2007, o órgão ambiental liberou a LI para as obras da parte continental, ou seja, implantação da SE Biguaçu e LT's 230 kV Biguaçu – Palhoça. Porém o órgão não emitiu a LI para as obras pertencentes à parte insular do projeto, LT Palhoça – Florianópolis Ilha e SE Florianópolis Ilha.

Somente em abril de 2007, o IBAMA o emitiu a LP, que atestava a viabilidade ambiental do empreendimento, para a parte insular e em agosto de 2007, o IBAMA liberou a LI para início das obras nas SE Florianópolis e LT 230 kV Palhoça-Desterro.

Entretanto, como houve atrasos no empreendimento como um todo, devido à emissão tardia das LI's para a LT 230 kV Palhoça – Florianópolis Ilha, as obras previstas na parte Continental já haviam sido iniciadas. No decorrer do processo, houve uma mudança de nomenclatura de alguns empreendimentos. Para não haver conflito de nomenclatura no sistema de subestações da Eletrosul, a SE Florianópolis Ilha fora batizada como SE Desterro, pois a concessionária já possuía uma SE Florianópolis localizada na Região de São José, na Grande Florianópolis.

Em decorrência do acontecido, a LT 230 kV Palhoça – Florianópolis Ilha, precisou ser denominada LT 230 kV Palhoça – Desterro. Porém a LT 230 kV Palhoça – Florianópolis Ilha, ficou denominada LT 230 kV Biguaçu – Desterro, devido às mudanças no planejamento da LT 230 kV que interligaria continente – ilha. Desta forma, a LT encabeçou na SE Biguaçu e não mais na SE Palhoça, surgindo então a necessidade de troca de denominação. Atualmente a LT 230 kV Biguaçu – Desterro possui um trecho de 17 km em circuito duplo. Um dos circuitos se conecta na SE Palhoça e o outro segue por mais 40 km para a SE Desterro. Esta configuração foi apresentada nos estudo ELETROSUL/CELESC/CCPE/CTET/010.2004 na p. 21, como uma alternativa para o atendimento eletroenergético da Ilha de Santa Catarina.

### **3 LT 230 KV BIGUAÇU - DESTERRO**

#### **3.1 FINALIDADE**

Interligar a SE Biguaçu à SE Desterro para suprir as necessidade eletroenergética na Ilha de Santa Catarina, bem como deixar a Ilha conectada ao SIN.

#### **3.2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA LT 230M KV BIGUAÇU - DESTERRO**

A LT 230 kV Biguaçu – Desterro é subdivida em dois segmentos. O primeiro, com aproximadamente 17 km de extensão, com dois circuitos aéreos trifásicos, sendo um condutor por fase, disponibilizado na vertical. Possui ao longo do trecho um cabo pára-raio de aço 3/8” EAR (Extra Alta Resistência) e um OPGW (Optical Power Ground Wire) com 24 fibras. A linha é constituída por 42 torres de aço galvanizado, tendo o suporte mais comum a estrutura de suspensão, com separação horizontal de 7,80 metros e na vertical 5 metros. O ângulo de proteção do cabo pára-raios é de 10° em relação ao condutor superior. O vão médio da linha é de 450 metros.

Um dos circuitos, o circuito da esquerda sentido SE Biguaçu para SE Palhoça, encabeça na SE Palhoça, e o outro segue para a SE Desterro por mais 40 km ao qual é o segundo segmento. O segundo segmento é subdividido em três trechos: trecho de LT continental, trecho de LT com travessia submersa e trecho de LT na ilha de Santa Catarina.

O primeiro trecho, trecho de LT continental, localizado no continente, com cerca de 20 km de extensão é composto por um circuito simples e aéreo, com um condutor por fase e dois cabos pára-raios de aço 3/8” EHS. Este circuito possui um vão médio de 350 metros. A estrutura predominante neste trecho é a estrutura de suspensão, com separação horizontal de 6,80 metros e o ângulo entre os cabos condutores e pára-raios é de 5°.

Já o segundo trecho, com travessia marítima, é um circuito trifásico composto por cabo submarino isolado, um cabo por fase, com aproximadamente 4 km de extensão e profundidade média de 7 metros. O ponto de travessia é entre a Ponta do Cedro, no continente e a Ponta do Caiacanga-açu na Ilha, possuindo uma profundidade média de 7 metros. Na Ponta do Caiacanga-açu foi implantada uma subestação de transição, onde ocorre a transição entre a linha aérea e o cabo submarino. Este cabo possui uma seção de 300 mm<sup>2</sup> com tensão de operação de 245 kV e capacidade de transmitir uma corrente de 780 A.

Por último, o trecho de LT na Ilha de Santa Catarina, a partir da Ponta da Caiacanga-açu, a linha segue novamente em trecho aéreo por aproximadamente de 16 km, em circuito trifásico, um cabo por fase e dois cabos pára-raios de aço 3/8” EHS. Sendo que 13 km, o circuito é disposto horizontalmente, com de 37 torres de aço galvanizado, com vão médio de 350 metros, predominando a estrutura de suspensão, com separação horizontal de 6,8 metros, distância entre cabos condutores e pára-raios de 5 metros, com um ângulo de 5° entre os cabos condutores e pára-raios.

Os 3 km seguintes, o circuito está disposto triangularmente, em um conjunto de 10 estruturas de concreto urbano, com vãos médios de 300 metros. A estrutura predominante é a suspensão com separação triangular de 5 metros e na vertical de 7 metros. O ângulo de proteção do pára-raios é de 30°, em relação ao condutor superior.

### 3.2.1 Material

A tabela 3.1 mostra de forma sucinta os principais materiais utilizados na construção da LT Biguaçu-Desterro.

Tabela 3-1: Materiais Utilizados na Construção da Linha

| Trecho           | LT Continente - Circuito duplo – sentido SE Biguaçu – SE Palhoça | LT Continental - Circuito Simples | LT na Ilha de Santa Catarina            | LT Submerso |
|------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|-------------|
| Tipo/ Disposição | Aéreo/ Vertical                                                  | Aéreo/ Horizontal                 | Aéreo/ Horizontal<br>Aéreo / Triangular | NA          |

## UNISUL – Universidade do Sul de Santa Catarina

| Trecho                        | LT Continente - Circuito duplo – sentido SE Biguaçu – SE Palhoça                                                                                                        | LT Continental - Circuito Simples                                                 | LT na Ilha de Santa Catarina                                                                                                                                                 | LT Submerso                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Estrutura Predominante</b> | Suporte de aço galvanizado. Estrutura de Suspensão. Total de 42 torres no trecho.                                                                                       | Suporte de aço galvanizado. Estrutura de Suspensão. Total de 57 torres no trecho. | Suporte de aço galvanizado. Estrutura de Suspensão. Total de 37 torres no trecho.<br>Estrutura de Concreto Urbana. Estrutura de Suspensão. Total de 10 estruturas no trecho. | NA                                                                                                                                                                                           |
| <b>Condutor</b>               | CAA 795 kcmil “Drake”, seção nominal 468,5 mm <sup>2</sup> , formação 26/7, com peso 1,6286 kg/m, diâmetro de 0,02813 m, com carga de ruptura de 14286 kgf.             |                                                                                   |                                                                                                                                                                              | Cabos isolados submersos com área condutiva de no mínimo 300 mm <sup>2</sup> de cobre, com chapa de chumbo e armação em fios de cobre, com proteção externa em Polietileno de alta densidade |
| <b>Cabo Pára-Raio</b>         | Cordoalha de aço 3/8” EHS, seção nominal de 51,14 mm <sup>2</sup> , formado por 7 fios, com peso de 0,407 kg/m, diâmetro de 0,00952 m com carga de ruptura de 6985 kgf. |                                                                                   |                                                                                                                                                                              | NA                                                                                                                                                                                           |
| <b>OPGW</b>                   | Cabo com fibras ópticas OPGW, com 24 fibras                                                                                                                             |                                                                                   |                                                                                                                                                                              | NA                                                                                                                                                                                           |
| <b>Contrapeso</b>             | Fios de aço galvanizado 4 BWG, com seção 28,7 mm <sup>2</sup> , diâmetro de 0,00695 m e peso próprio de 0,229 kgf/m, com carga de ruptura 719 kgf.                      |                                                                                   |                                                                                                                                                                              | NA                                                                                                                                                                                           |

Fonte: Elaboração própria das autoras

### 3.3 CABOS CONDUTORES DA LT PARTE CONTINENTAL E INSULAR

#### 3.3.1 Finalidade

Os cabos condutores de uma linha de transmissão são responsáveis pela transmissão da corrente à carga, por isso são extremamente importantes para um sistema de

energia, sendo insubstituíveis nesta função. Para que os cabos condutores executem sua função de forma adequada, ele deve ser dimensionado corretamente para sua aplicação.

Alguns aspectos são de fundamental importância no momento de determinar que tipo de cabo que será utilizado em uma LT, por exemplo:

- Local de instalação (Rede aérea ou subterrânea);
- Material do condutor;
- Seção mínima;
- Capacidade de condução de corrente;
- Tipos estruturas de sustentação;
- Entre outros.

Desta forma, serão apresentados os cabos condutores utilizados na construção da LT Biguaçu – Desterro no trecho continental e insular, bem como os aspectos técnicos elétricos e mecânicos que foram relevantes na elaboração do projeto.

### **3.3.2 Características dos cabos condutores da LT parte continental e insular**

A linha de transmissão de 230 kV Biguaçu – Desterro é composta por dois trechos de cabos nus em estruturas aéreas, sendo o primeiro trecho continental com 38,5km e o segundo trecho insular com 13,5km. Nestes dois trechos foram utilizados o mesmo tipo de cabo condutor, sendo um condutor de 1xCAA 795 kCMIL, 26/7 por fase.

Este cabo é formado por 26 fios de alumínio de diâmetros iguais encordados entre si. O encordoamento tem a finalidade de evitar a fadiga mecânica, visto que um condutor sólido se romperia próximo aos pontos de conexão devido às vibrações geradas pela transmissão de energia e ainda pela incidência de ventos no cabo.

O cabo utilizado é de alumínio, pois este é um material condutor elétrico de grande eficiência, sua condutividade é de  $3,52 \times 10^7$  S/m, 61% comparando-se ao cobre quimicamente puro a 20°C, que de acordo com a norma IACS (International Annealed Copper Standard), possui condutividade em 100%. Além disso, o alumínio possui baixo peso específico e seu custo não é muito elevado devido a sua abundância na natureza. A tabela 3-2

apresenta as principais propriedades do alumínio comparando-se ao cobre que é um excelente condutor, porém com custo muito elevado por ser mais escasso na natureza.

Tabela 3-2: Propriedades dos Materiais

| Características                                            | Alumínio              | Cobre            |
|------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------|
| Condutividade                                              | 61% IACS <sup>1</sup> | 97% <sup>1</sup> |
| Resistividade em microhm/cm a 20°C                         | 2,828                 | 0,7774           |
| Coeficiente Térmico de Resistividade, em microhm/cm por °C | 0,0115                | 0,00681          |
| Coeficiente Térmico de expansão linear por °C              | 0,000023              | 0,000017         |
| Densidade a 20 °C em gr/cm <sup>3</sup>                    | 2,703                 | 8,89             |
| Carga de ruptura em Kg/mm <sup>2</sup>                     | 16 – 21               | 35 – 47          |
| Módulo de elasticidade final, kg/mm <sup>2</sup>           | 7.000                 | 12.000           |

Fonte: Transmissão de Energia Elétrica, Aspectos Fundamentais. C. Celso de Brasil Camargo.

Apesar de ser um ótimo condutor, o alumínio não possui a resistência mecânica exigida em uma linha de transmissão de vãos longos e difícil acesso, por isso, são incluídos neste caso 7 fios de aço galvanizado, que tem a função de sustentação e esforço mecânico do cabo, de onde surge o nome CAA (Cabo de Alumínio com Aço). Na figura 3-1 encontram-se os tipos de cabos CAA disponíveis no mercado.

Como se pode observar na figura, os fios de aço ficam dispostos no centro do cabo, sendo cobertos pelos fios de alumínio encordoados concentricamente a fim de evitar perdas por correntes parasitas.

<sup>1</sup> IACS – Referente a cobre quimicamente puro, padrão internacional, condutividade de 100% medido a 20 °C.

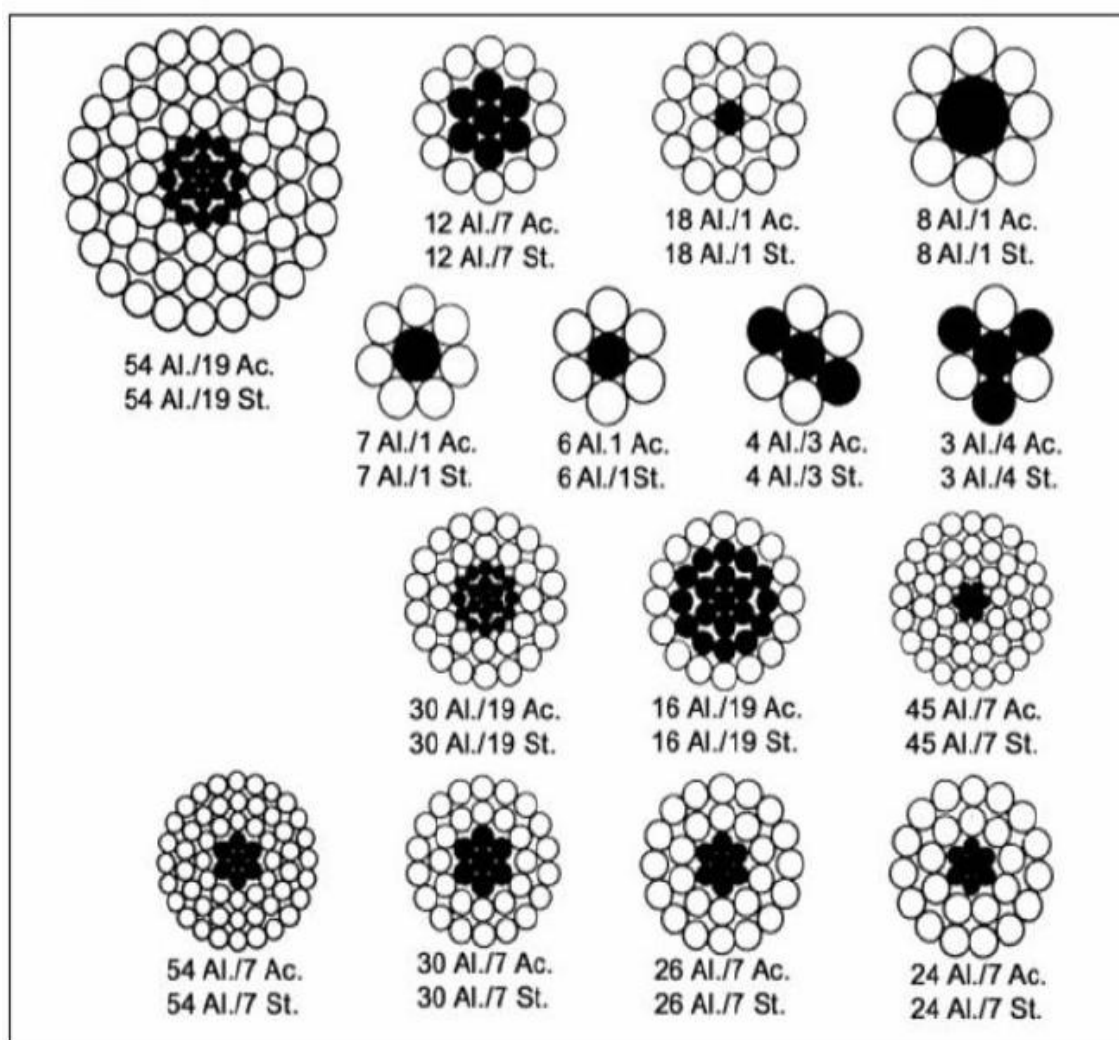


Figura 3-1: Encordoamento da Cabos CAA.  
Fonte: Nexans Ficap

De acordo com CAMARGO, 2009, no Brasil é adotada uma nomenclatura para os cabos, esta nomenclatura segue os padrões canadenses, que nos cabos de alumínio com alma de aço possuem nomes de aves em inglês de acordo com a bitola do mesmo. A seção do condutor utilizado na LT Biguaçu-Desterro é de 795 kCMIL, classificado como cabo DRAKE (Pato). Este cabo é equivalente a  $468,45\text{mm}^2$ , seu diâmetro é de 28,1mm, com peso unitário de  $1,628\text{ kgf/mm}^2$  e carga de ruptura igual a 14286 kgf. A tabela 3-3 apresenta as principais características do cabo Drake.

Tabela 3-3: Principais Características dos Cabos Drake

| Bitola<br>AWG/MCM | Seção Transversal |             | Formação   |             |            |             | Diâmetro Externo Nominal<br>(mm) |       | Peso Líquido Nominal (kg/km) |       |        | Carga de Ruptura (kgf) |          | Resistência<br>Elétrica<br>(ohm/km)<br>CC 20°C | Ampacidade [A] |
|-------------------|-------------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|----------------------------------|-------|------------------------------|-------|--------|------------------------|----------|------------------------------------------------|----------------|
|                   |                   |             | Alumínio   |             | Aço        |             |                                  |       |                              |       |        |                        |          |                                                |                |
|                   | Al [mm²]          | Total [mm²] | n° de fios | φ fios (mm) | n° de fios | φ fios (mm) | Alma de Aço                      | Total | Alumínio                     | Aço   | Total  | Classe A               | Classe B |                                                |                |
| 795               | 402,92            | 468,5       | 26         | 4,442       | 7          | 3,454       | 10,36                            | 28,13 | 1116,3                       | 512,3 | 1628,6 | 14286                  | 13836    | 0,0717                                         | 910            |

Fonte: Catálogo Prysmian Cables Systems

Este cabo ainda é preparado para suportar uma tensão aplicada nominal de 230kV, frequência de 60Hz. Potência nominal de 310MVA e fator de carga de 0,95, potência máxima de 350MVA.

### 3.4 CARACTERÍSTICAS DO TRECHO DA LT SUBMARINO

Para a definição do traçado da parte subaquática da LT Biguaçu - Desterro foi determinado que os pontos a serem interligados estavam situados na região denominada Ponta do Cedro, município de Palhoça no Continente e na região da Ponta de Caiacanga – Açu na Ilha, com um comprimento estimado inicialmente em cerca de 4200 m.

A fim de elaborar o projeto definitivo do traçado, foram realizados levantamentos dos perfis das margens para a definição do melhor ponto de instalação das SE's de transição, e ainda o levantamento batimétrico do fundo do mar, numa faixa de 100m ao longo da rota e de sedimentos do fundo. O levantamento batimétrico nada mais é que a determinação da medida do contorno, da dimensão e da posição relativa da superfície submersa dos mares, rios, lagos, represas e canais. A figura 3.2 mostra um trecho da batimetria da rota da LT.

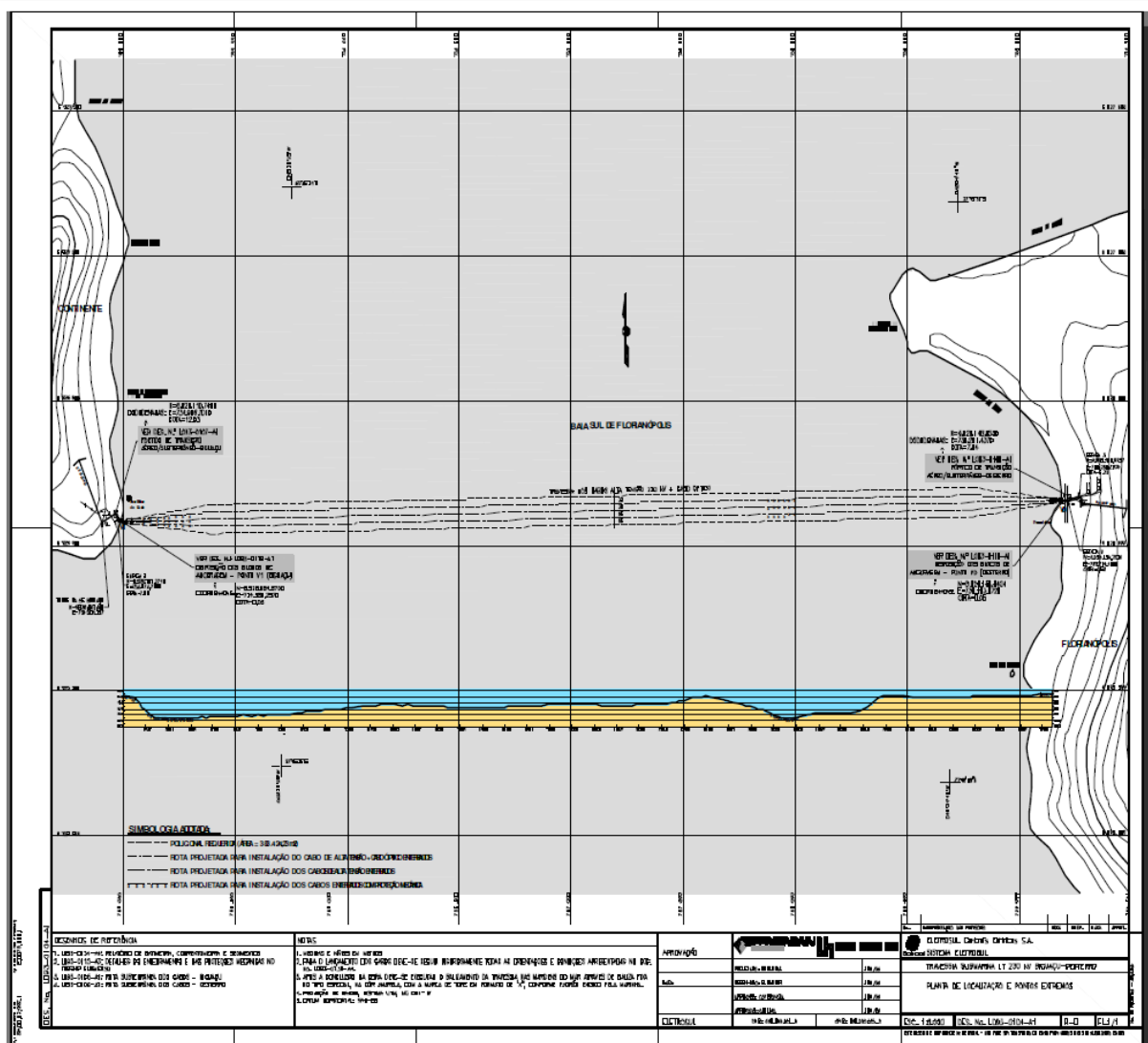


Figura 3-2: Corte de um Trecho da Batimetria na Rota do Cabo

Fonte: Artigo Projeto de Linha de Transmissão Submarina Biguaçu-Desterro em 230kV

A rota foi definida baseada nestes estudos e ainda com a análise da região a fim de evitar danos às criações de berbigão e outras interferências no ambiente envolvido, garantido a distância mínima de 25m entre cabos condutores. Esta distancia é necessária para evitar a interferência entre os cabos durante o seu lançamento e garantindo a independência entre eles, tanto do ponto de vista térmico como mecânico.

### **3.4.1 Subestação de Transição**

Os cabos condutores Drake, bem como o cabo óptico e OPGW que formam o trajeto insular e continental da LT Biguaçu – Desterro ancoram em uma SE de transição (também conhecido com pórtico de fim de linha), antes de percorrerem o trajeto submarino.

A SE de transição tem como principal função ser meio intermediário de junção para a mudança eletromecânica dos cabos condutores e de proteção aéreos para cabos condutores e de proteção submarinos.

Uma SE de transição apresenta equipamentos e configuração semelhantes ao de uma SE comum, porém como principal diferença é não haver transformação da classe de tensão no trecho da LT Submarina. Portanto a função de alocar esta SE no início e fim do trecho submarino da LT é específico para fazer a conexão dos cabos aéreos para os cabos submarinos, tanto o condutor quando o óptico.

Para realizar a transição entre o trecho aéreo e submarino, os cabos condutores e OPGW são ancorados em pórticos de entrada da SE que irão logo compor o barramento flexível conectado aos equipamentos, transformadores de corrente (TC's), transformadores de potencial (TP's), disjuntores, chaves seccionadoras, etc. Porém, como no caso da LT Biguaçu-Desterro o cabo submarino isolado deverá operar somente em conjunto com a linha aérea e vice-versa, não houve a necessidade de utilização dos disjuntores ou chaves, sendo feita somente a conexão direta por meio de “jump”, portanto foi previsto apenas a instalação de para raios.

As figuras 3-3 e 3-4 mostram das SE's de Transição dos lados do Continente e da Ilha, nelas os cabos condutores Drake são ancorados no pórtico de estrutura metálica e ligados diretamente aos terminais dos cabos isolados e em paralelo com os pára-raios.



Figura 3-3: SE de Transição em 230kV no Continente

Fonte: Artigo Projeto de Linha de Transmissão Submarina Biguaçu-Desterro em 230kV



Figura 3-4: SE de Transição em 230kV na Ilha

Fonte: Artigo Projeto de Linha de Transmissão Submarina Biguaçu-Desterro em 230kV

O cabo OPGW que é utilizado como pára-raios e para comunicação, também é ancorado nos pórticos de entrada das SE's de transição. Neste local é feito o arranjo de descida do cabo que através de caixas de emendas faz-se a fusão das fibras com cabos ópticos específicos para a aplicação marinha.

Após a transição pelas SE's os cabos condutores e óptico percorrem um pequeno trecho enterrados antes de ser ancorados para o trecho marinho. Estes cabos são conectados à uma caixa de aterramento e, só posteriormente, são ancorados em blocos de concreto disposto de dutos que serão responsáveis pelo esforço mecânico dos cabos para percorrer o trecho da LT Subaquática. A figura 3-5 ilustra o diagrama da SE de transição bem como a caixa de aterramento e a ancoragem dos cabos nos blocos de concreto.

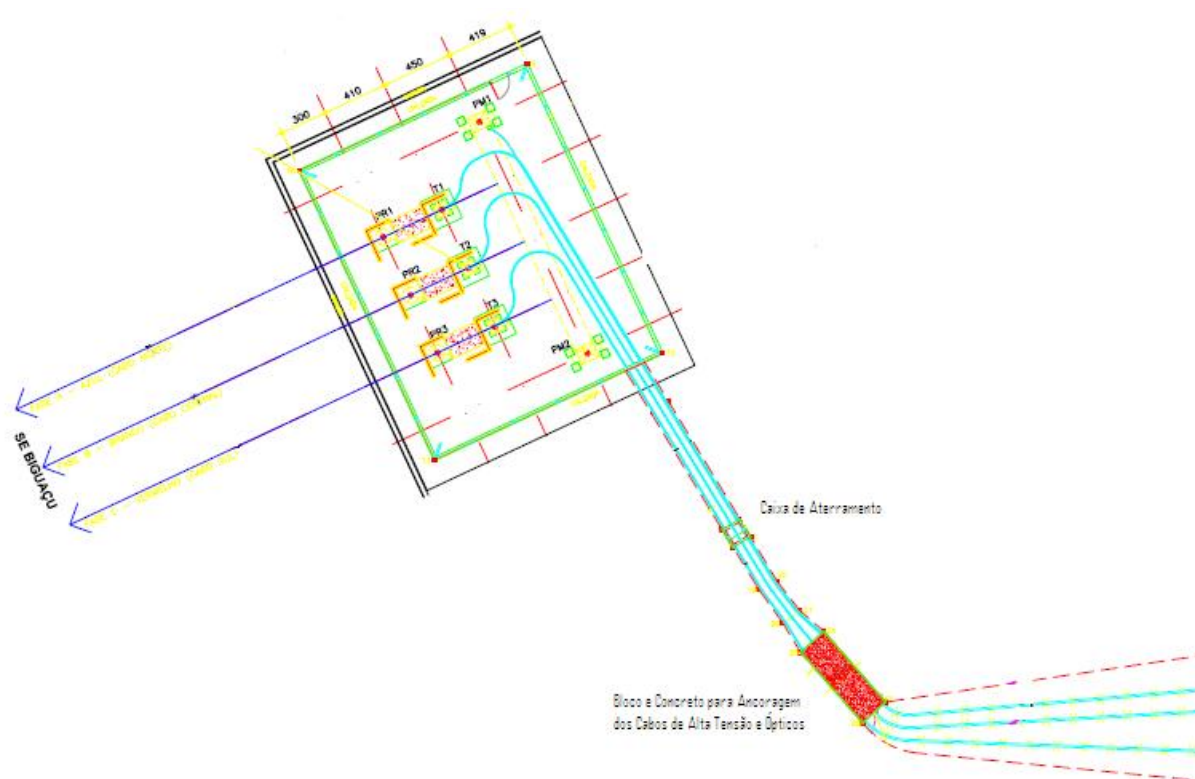


Figura 3-5: Transição de Cabo Aéreo para Submarino  
Fonte: Arquivos Eletrosul

### 3.4.2 Características dos cabos condutores submarinos

Para a determinação do cabo condutor que seria utilizado no trecho submarino da LT Biguaçu-Desterro, foi necessário ser feita uma série de análises e considerações, até que a Eletrosul juntamente com a empresa fornecedora do cabo chegasse a conclusão de que a melhor alternativa de cabo para este trecho fosse o cabo circular compacto, construído com

fios de cobre recosido liso, com preenchimento de material semicondutor de bloqueio de água para impossibilitar infiltrações, e com bitola de 500mm<sup>2</sup>. A figura 3-6 mostra um corte do cabo, onde pode-se observar todas as camadas de materiais, que juntas, garantem impermeabilidade, blindagem eletromagnética, proteção e isolamento.

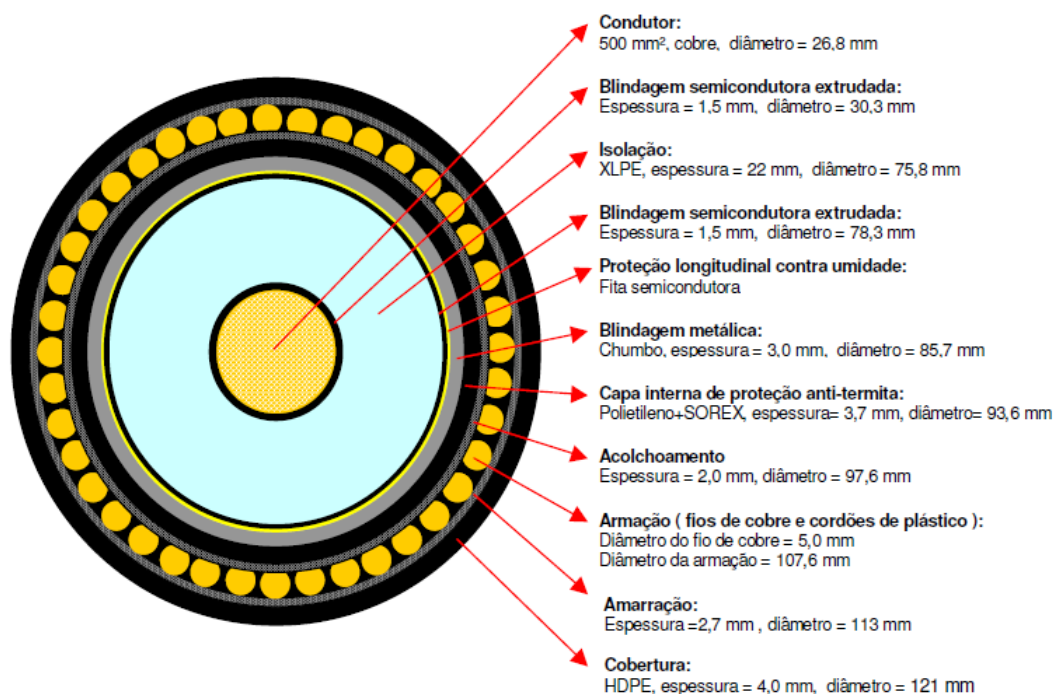


Figura 3-6: Corte do Cabo Submarino com Representação de suas Camadas  
Fonte: Arquivos Eletrosul

No desenho, núcleo é o condutor propriamente dito, composto de cobre com fios de diâmetro de 26mm. Sua principal função é garantir o transporte de energia elétrica.

Em seu envolto foi definido a utilização de Polietileno Reticulado (XLPE) para garantir isolamento juntamente com condutores de cobre tamponado e chumbo extrudado que possibilitam a proteção contra penetração radial de água e blindagem de campo elétrico.

Por fim, ainda é aplicada uma cobertura de polietileno para proteção contra abrasão e atrito. As dimensões externas do cabo é de 121mm de diâmetro, com peso de 27,2kg/m no ar e 15,4kg/m de peso na água.

As características técnicas dos cabos podem ser observadas na tabela 3-4.

Tabela 3-4: Características Técnicas dos Cabos Submarinos

| <b>CABO DE ENERGIA SUMARINO 1X500MM², 230kV</b>                                              |                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Tipo de Cabo (designação do fornecedor)                                                      | RE4LEJFE           |
| Tensão Fase-Terra                                                                            | 133kV              |
| Tensão Fase-Fase                                                                             | 230kV              |
| Tensão Máxima Projetada Fase-Fase                                                            | 245kV              |
| Tensão Suportável de Impulso                                                                 | 1050kV             |
| Tensão Suportável de Curta Duração (60s)                                                     | 460kV              |
| Número de Condutores                                                                         | 1                  |
| Área da seção Transversal                                                                    | 500mm²             |
| Norma de Referência                                                                          | IEC 62067          |
| Vida Útil Prevista para o Cabo                                                               | Superior a 30 anos |
| Resistência DC do Condutor a 20°C                                                            | 0.0366Ω/km         |
| Indutância do Cabo                                                                           | 0.440mH/km         |
| Reatância do Cabo para 60Hz                                                                  | 0.113Ω/km          |
| Capacitância                                                                                 | 0.145μF/km         |
| Impedância de Sequência Zero, Positiva e Negativa para Valores de Corrente =780 <sup>a</sup> | 0,83+J0,113Ω/km    |
| Queda de Tensão/metro para Valor de Corrente= 780A (0.9 f.p. indutivo assumido)              | 0.192 V/m          |
| Temperatura Máxima no Condutor (Serviço Normal)                                              | 90°C               |
| Temperatura Máxima no Condutor (Emergência)                                                  | 105°C              |
| Temperatura Máxima no Condutor (Curto-Circuito)                                              | 250°C              |
| Corrente de Curto-Circuito no Condutor para 0,5s (90-250°C)                                  | 101kA              |
| Corrente de Curto-Circuito n Capa Meálica para 0,5s (65-170°C)                               | 26kA               |
| Máximo Valor de Corrente (Iposto pelo racho em Terra)                                        | 820A               |

Fonte: Arquivos Eletrosul.

As bobinas dos cabos foram fabricadas com aproximadamente 4460 metros cada uma, não havendo emendas em toda sua extensão, cada bobina de cabo chegou a pesar aproximadamente 150 toneladas. Sua fabricação é italiana e foi transportada para o Brasil através de barcos. No Brasil, estas bobinas foram deslocadas para balsas que serviriam no auxílio do lançamento dos cabos no mar.

O lançamento do cabo no mar contou ainda com o apoio de lanchas e equipes de mergulhadores. O primeiro cabo a ser lançado foi o mais ao sul, este lançamento levou cerca de dez dias para ser realizado, visto que no seu trajeto existia um banco de areia que dificultava as manobras para alocação do cabo no fundo do mar. O segundo cabo a ser

alocado, foi o mais ao norte, que também tinha um banco de areia dificultando sua acomodação, porém a experiência do primeiro lançamento ajudou na sua acomodação. A colocação deste cabo levou cerca de quatro dias, juntamente com o cabo de energia, neste trajeto foi lançado o cabo óptico de comunicação.

Por fim, a terceira e última etapa foi o vão central, que não houve problemas em seu lançamento e levou aproximadamente dois dias para seu total lançamento. Entre cada cabo foi deixado uma distância de vinte e cinco metros, sendo os mesmos ainda enterrados aproximadamente um metro ao longo do trecho no mar. As figuras 3-7 e 3-8 mostram o momento do lançamento dos cabos na água.

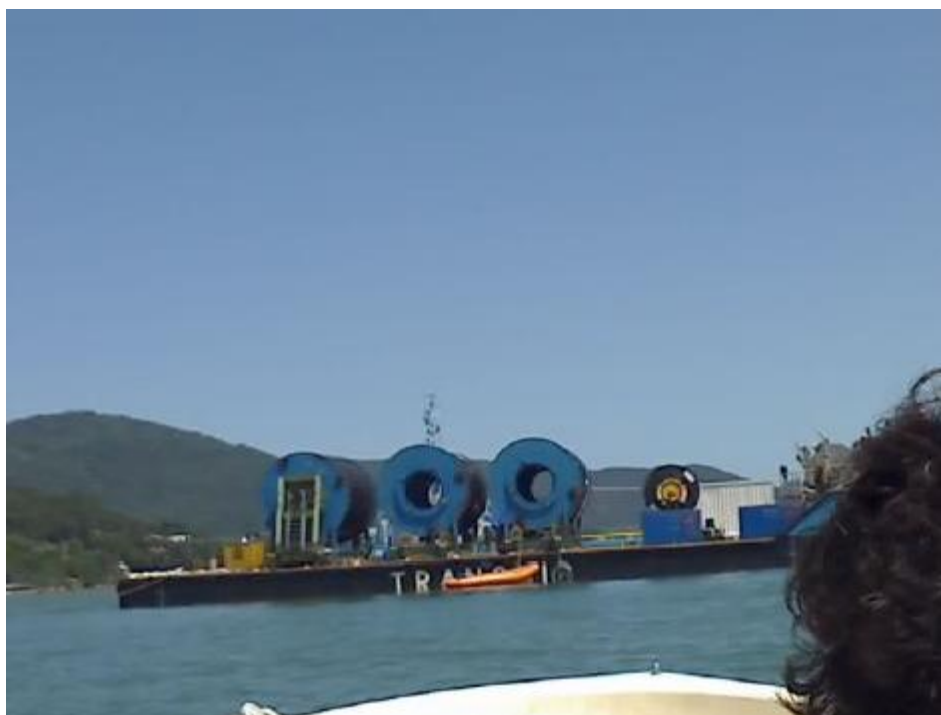


Figura 3-7: Balsa com as Bobinas dos Cabos Submarinos

Fonte: Artigo Projeto de Linha de Transmissão Submarina Biguaçu-Desterro em 230kV



Figura 3-8: Lançamento do Cabo Submarino

Fonte: Artigo Projeto de Linha de Transmissão Submarina Biguaçu-Desterro em 230kV

### 3.4.3 Características do cabo óptico submarino

O cabo de fibra óptica submarina é um cabo especial, este cabo recebe uma proteção mecânica adicional, própria para instalação sob a água, por exemplo, em rios, baías e oceanos. Normalmente dispõe de alma de aço e de um isolamento e proteção mecânica especiais.

Este tipo de cabo óptico é muito utilizado em redes internacionais de telecomunicações, que interligam países e continentes.

O primeiro sistema óptico, precursor dos sistemas de cabos submarinos atuais, foi implantado nas Ilhas Canárias em 1982. A era do cabo óptico submarino de longa distância teve início efetivamente em 1988, com o lançamento de um cabo óptico submarino transatlântico entre os oceanos Pacífico e Atlântico (interligando USA, França e Inglaterra) com capacidade de transmissão em massa.

No sistema de transmissão de energia, este cabo é utilizado para transmissão de dados referentes a proteção dos sistemas elétricos. Como no caso da LT Biguaçu-Desterro, onde não há necessidade de instalação de cabo OPGW na parte submarina da linha, a instalação do cabo óptico se torna a melhor opção.

O cabo escolhido para utilização neste trecho da LT é constituído de 24 fibras ópticas, posicionadas em tubos de 6 fibras preenchidos com geléia, estes tubos são agrupados em torno de um elemento central dielétrico. O conjunto assim formado é revestido por fitas de enfaixamento e uma camada interna de polietileno, sobre esta camada ainda é aplicado fios de aramida e uma fita térmica impermeável denominada de *waterblocking*. Sobre toda esta estrutura são aplicadas armações de cobre, fios de aço galvanizado e uma capa externa de polietileno para proteger o núcleo anteriormente formado.

Na figura 3-9 pode-se observar um corte deste cabo óptico contendo todas as suas camadas de formação.

### Desenho Construtivo do Cabo

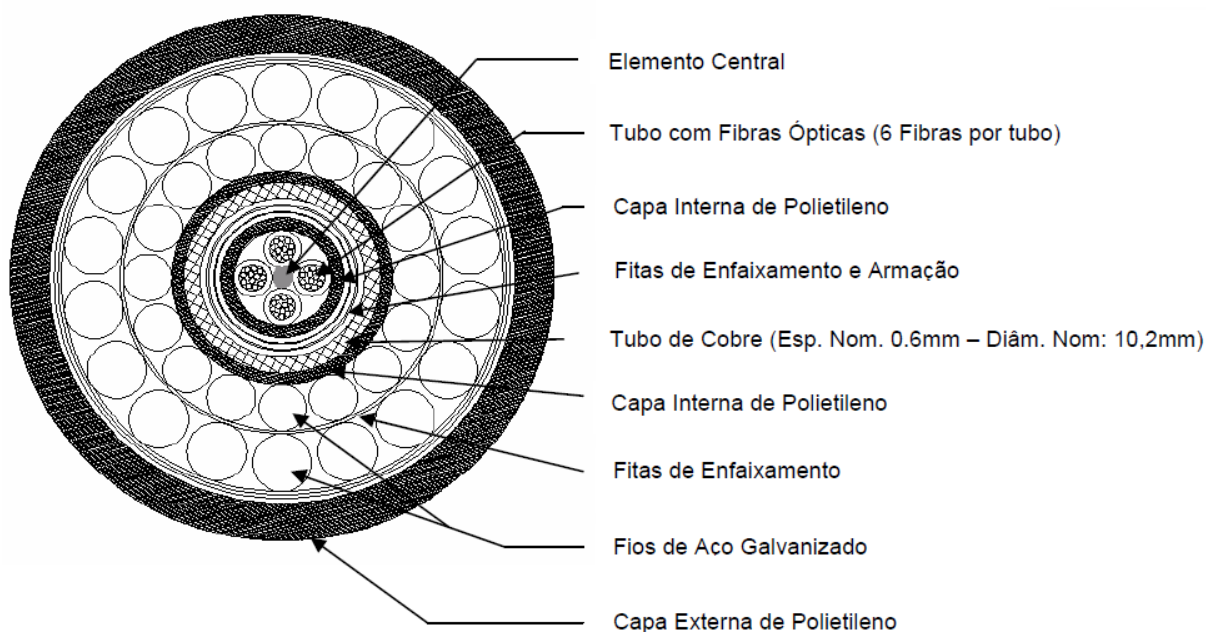


Figura 3-9: Corte do Cabo Óptico Submarino.  
Fonte: Arquivos Eletrosul.

A tabela 3-5 apresenta as características técnicas do Cabo Óptico submarino.

Tabela 3-5: Características Técnicas dos Cabos Submarinos

| <b>Características Técnicas Cabo Óptico Submarino</b> |            |
|-------------------------------------------------------|------------|
| Número de Fibras Ópticas                              | 24         |
| Diâmetro Externo Nominal                              | 28.5mm     |
| Peso no Ar (nom)                                      | 2.20kgf/m  |
| Peso na água (nom)                                    | 1.54kgf/m  |
| Tensão de Trabalho Máxima                             | 5.7tf      |
| Raio de Curvatura Mínimo                              | 450mm      |
| Temperatura de Operação                               | -10 a 70°C |

Fonte: Arquivos Eletrosul.

### 3.5 CABO PÁRA-RAIOS PARTE CONTINENTAL E INSULAR.

Uma LT não pode dispensar a utilização de cabos pára-raios a fim de minimizar os impactos das descargas atmosféricas nos condutores de fase. A função do cabo pára-raios é desviar a corrente proveniente da descarga para o solo, por intermédio dos cabos contrapesos ancorada nos arranjos de descida das torres de alta tensão.

No sistema elétrico brasileiro as linhas de transmissão, habitualmente, são compostas de cabo de aço do tipo EAR, porém a utilização do cabo OPGW vem se difundindo e se tornando cada vez uma opção mais viável.

No caso de dois cabos pára-raios EAR, é comum que eles sejam aterrados apenas em alguns trechos do circuito a fim de minimizar perdas por correntes induzidas. Já os cabos OPGW devem ser aterrados em todas as torres, para minimizar as tensões induzidas, já que se cria vários caminhos de escoamento para a terra para as mesmas.

Na construção da parte continental e insular da LT Biguaçu-Desterro, foram utilizados três tipos de cabos na composição dos pára-raios, o PETREL, o 3/8"EAR e o PETREL.

### 3.5.1 Cabo PETREL e 3/8"EAR

O tipo de cabo pára-raios a ser utilizado em uma linha de transmissão é definido de acordo com a carga de ruptura mínima especificada, com as características do meio e com a corrente de curto-circuito dimensionada através de simulações. A nomenclatura destes cabos é dada de acordo com os critérios acima citados, sendo o (AR ou HR) o cabo de alta resistência e o (EAR ou EHE) o extra alta resistência.

Como citado anteriormente, a LT Biguaçu-Desterro na parte continental passa por trechos em circuitos duplos e outro trechos em circuitos simples, os cabos do tipo PETREL e 3/8"EAR são utilizados na parte da LT em circuito duplo. Estes cabos não possuem formas de comunicação e não possui outra função além de para-raios, diferente do cabo OPGW que além de ser pára-raios, em seu interior são alocadas fibras ópticas que são utilizadas como comunicação para proteção.

Os cabos do tipo 3/8"EAR são constituído de sete fios de aço zincado, e diâmetro de 9,13mm<sup>2</sup>. A tabela 3-6 mostra as principais características do cabo 3/8"EAR.

Tabela 3-6: Características Técnicas dos Cabos 3/8"EAR

| Diâmetro  |     | Carga de Ruptura (t) |      |       | Peso Aproximado | Massa Mínima Camada Zinco |          |          | Lances por Bobina (m) |
|-----------|-----|----------------------|------|-------|-----------------|---------------------------|----------|----------|-----------------------|
| Polegadas | mm  | S.M                  | H.S  | E.H.S | kg/m            | Classe A                  | Classe B | Classe C |                       |
| 3/8'      | 9,5 | 3,16                 | 4,91 | 7     | 0,406           | 260                       | 520      | 780      | 2200                  |

Fonte: Catálogo Belgo Bekaert.

O Cabo PETREL, assim como o cabo DRAKE, é composto de alumínio com alma de aço, seu diâmetro é de 11,7 mm e sua composição é 12 fios de alumínio encordoados em volta de 7 fios de aço, a tabela 3-7 mostra as principais características deste tipo de cabo.

Tabela 3-7: Principais Características dos Cabos PETREL

| Bitola<br>AWG/<br>MCM | Seção Transversal |             | Formação      |                |               |                | Diâmetro<br>Externo<br>Nominal (mm) |       | Peso Líquido Nominal<br>(kg/km) |       |       | Carga de Ruptura<br>(kgf) |          | Resistência<br>Elétrica<br>(ohm/km) | Ampacidade<br>(A) |
|-----------------------|-------------------|-------------|---------------|----------------|---------------|----------------|-------------------------------------|-------|---------------------------------|-------|-------|---------------------------|----------|-------------------------------------|-------------------|
|                       |                   |             | Alumínio      |                | Aço           |                |                                     |       |                                 |       |       |                           |          |                                     |                   |
|                       | Al (mm²)          | Total (mm²) | n° de<br>fios | ø fios<br>(mm) | n° de<br>fios | ø fios<br>(mm) | Alma de<br>Aço                      | Total | Alumínio                        | Aço   | Total | Classe A                  | Classe B | CC 20°C                             |                   |
| 101,8                 | 51,56             | 81,64       | 12            | 2,339          | 7             | 2,339          | 7,02                                | 11,7  | 142,9                           | 234,9 | 377,8 | 4709                      | 4503     | 0,56                                | 240               |

Fonte: Nexans Ficap, com adaptações das autoras.

### 3.5.2 Cabo OPGW

Os sistemas de telecomunicações exercem importantes papéis no sistema de Transmissão de Energia. Estes sistemas são usados, por exemplo, em:

- Teleproteção;
- Transmissão de Dados;
- Transmissão de Voz;
- Transmissão de Imagem.

Os sistemas de linhas de transmissão em alta tensão permitem a comunicação de longa distância, quer pela utilização direta dos condutores (sistema carrier), quer dando suporte mecânico a cabos ópticos OPGW (Optical Power Ground Wire). Com o avanço da tecnologia, o uso de fibra óptica (FO) vem dando resultados cada vez mais eficientes no sistema de transmissão. É comum utilizar os cabos OPGW em substituição dos cabos de pára-raios constituídos de alma de aço.

Os cabos OPGW, também conhecidos como Cabo de Guarda com FO, são cabos especiais capazes de executar simultaneamente as funções de condutor-terra de proteção das linhas de transmissão contra descargas atmosféricas e é provedor de interconexões de alta capacidade para telecomunicações, graças às fibras ópticas de seu interior. Na figura 3-10 é possível observar a forma construtiva do cabo OPGW.



Figura 3-10: Corte Cabo OPGW

Fonte: <http://portuguese.alibaba.com/product-gs-img/opgw-optical-fiber-cable-495137718.html>

Esta integração entre cabo ótico e linha de transmissão preserva a função do cabo pára-raios protegendo a rede de descargas atmosféricas e curto-circuito. Suas partes metálicas são capazes de suportar correntes extremamente altas.

Por ser imune à campos eletromagnéticos a integração da fibra óptica ao núcleo do cabo de energia é favorecido. Facilitando assim, a alta taxa de transmissão de voz, dados e imagens.

A figura 3-11 apresenta o esquema de teleproteção utilizando cabo OPGW e relé. Neste tipo de esquema de teleproteção, a comunicação entre os relés é feita pela transmissão do sinal pelas FO contidas no cabo OPGW, possibilitando efetuar vários esquemas de proteção. Por exemplo, um cabo de 18 pares de FO, pode trafegar em cada par 7560 canais, totalizando 136.080 canais de comunicação.

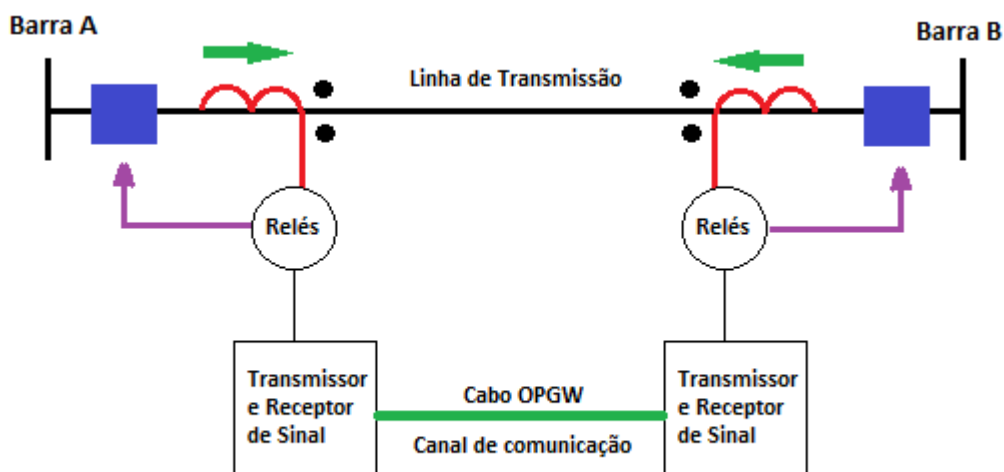


Figura 3-11: Teleproteção com Cabo OPGW

Fonte: KINDERMANN, 2006, p.42, com adaptações das autoras

As tabelas 3-8, 3-9, 3-10 e 3-11 mostram as características técnicas do cabo OPGW escolhido para utilização como pára-raios e comunicação nas estruturas da LT Biguaçu-Desterro.

Tabela 3-8: Características Técnicas Garantidas Cabo OPGW

| ITEM                                                      | CARACTERÍSTICAS                  |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------|
| <b>CABO PARA-RAIO COM FIBRA ÓPTICA - OPGW</b>             |                                  |
| <b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GARANTIDAS - FIBRA ÓPTICA</b> |                                  |
| Número de fibras no núcleo óptico                         | 24                               |
| Material do Núcleo                                        | Sílica                           |
| Material da Casca                                         | Sílica                           |
| Material de Revestimento Primário                         | Acrílate                         |
| Diâmetro do Núcleo (µm)                                   | 8 ± 0,5                          |
| Diâmetro da Casca (µm)                                    | 125 ± 1                          |
| Diâmetro do Revestimento (µm)                             | 245 ± 1                          |
| Não Circularidade da Casca                                | ≤ 1%                             |
| Não Circularidade do Revestimento (%)                     | ≤ 0,6%                           |
| Erro de concentricidade núcleo/casca                      | ≤ 0,6%                           |
| Erro de concentricidade fibra/revestimento (µm)           | ≤ 12,5%                          |
| Atenuação Máx. em 1310nm (dB/Km)                          | ≤ 0,35                           |
| Atenuação Máx. em 1550nm (dB/Km)                          | ≤ 0,21                           |
| Dispersão Cromática (ps/nm.Km)                            | ≤ 3.5 (1310 nm) ≤ 18.0 (1550 nm) |

| ITEM                                                                                                     | CARACTERÍSTICAS                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| <b>CABO PARA-RAIO COM FIBRA ÓPTICA - OPGW<br/>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GARANTIDAS - FIBRA<br/>ÓPTICA</b> |                                                    |
| Comprimento de onda para dispersão nula (nm)                                                             | 1300 a 1324                                        |
| Comprimento da onda de corte (nm)                                                                        | $\leq 1250$                                        |
| Diâmetro do campo modal em 1310nm ( $\mu\text{m}$ )                                                      | $9,3 \pm 0,4$                                      |
| Diâmetro do campo modal em 1550nm ( $\mu\text{m}$ )                                                      | $10,5 \pm 1,0$                                     |
| Sensibilidade óptica à curvatura em 1550 (dB)                                                            | 100 voltas, 60mm diâmetro<br>$\leq 0,1 \text{ dB}$ |
| Concentricidade do Campo Modal                                                                           | $\leq 0,6 \%$                                      |
| PMD - não cabeado [ps/(km)]                                                                              | $\leq 0,2$                                         |
| PMD - cabeado [os/(Km)]                                                                                  | $\leq 0,5$                                         |
| Perfil do Índice de Refração                                                                             | 1,467                                              |
| Raio de Curvatura (mm)                                                                                   | 60                                                 |

Fonte: Arquivos Eletrosul.

Tabela 3-9: Características Cabo Para-Raios Ópticos LOOSE

| ITEM                                                                                    | CARACTERÍSTICAS        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| <b>NÍVEL DE PROOF-TEST<br/>ALONGAMENTO % - SOB AS CONDIÇÕES ABAIXO<br/>FIBRA OPTICA</b> |                        |
| Vida de 40 anos sob EDS                                                                 | 0,00292%               |
| Curto Circuito                                                                          | -----                  |
| Carga Máxima                                                                            | 0,0382%                |
| <b>CABO PARA-RAIOS ÓPTICOS "LOOSE"</b>                                                  |                        |
| Excesso de fibra (%)                                                                    | 0,15%                  |
| Área Nominal (mm <sup>2</sup> ) (área efetiva elétrica)                                 | 120,32 mm <sup>2</sup> |
| Material dos fios Condutores                                                            | Aço Aluminizado        |
| Material do espaçador                                                                   | N/A                    |
| Material do tubo metálico                                                               | Alumínio Liga          |
| Fios condutores - nº e diâmetro                                                         | 9 x 3,60mm             |
| Tubo metálico diâmetro int/ext. (mm)                                                    | 7,20 x 4,00mm          |
| Elemento Ranhurado - diâmetro ext (mm)                                                  | N/A                    |
| Área Seccional (mm <sup>2</sup> ) (área Geométrica considerado o diâmetro)              | 162,85 mm <sup>2</sup> |
| Diâmetro Externo (mm)                                                                   | 14,4 mm                |
| Peso (kg/m)                                                                             | 0,700 kg/m             |
| Direção de Encordoamento dos fios condutores                                            | Esquerda               |
| Capacidade de Corrente de Curto-Circuito (kA <sup>2</sup> .s)                           | 79,4                   |
| Força Máxima (kgf/10cm)                                                                 | 1000 N                 |

## UNISUL – Universidade do Sul de Santa Catarina

| ITEM                                                                          | CARACTERÍSTICAS                     |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Raio mínimo de curvatura (mm)                                                 | 216 mm                              |
| Temperatura máxima para corrente de Curto-Circuito                            | 200°C                               |
| Capacidade de Curto Circuito durante 0,05s, para Temperatura inferior a 180°C | 79,4                                |
| RMG do cabo para-raios óptico                                                 | 5,6                                 |
| Reatância Indutiva do cabo Para-Raios Óptico ( $\Omega/\text{km}$ )           | $X_0 = 0,8156808$ $X_1 = 0,1949542$ |

Fonte: Arquivos Eletrosul.

Tabela 3-10: Características Técnicas Garantida Fibra Óptica

| ITEM                                                     | CARACTERÍSTICAS |
|----------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>CABO PARA-RAIO COM FIBRA ÓPTICA – OPGW</b>            |                 |
| <b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GARANTIDA - FIBRA OPTICA</b> |                 |
| Cabo para raio óptico (kgf)                              | 11860           |
| Fios Condutores (kgf/mm <sup>2</sup> ) (unitário)        | 129             |
| Tubo Metálico (kgf/mm <sup>2</sup> )                     | 275             |
| Elemento Ranhurado (kgf/mm <sup>2</sup> )                | N/A             |
| Espaçador                                                | N/A             |

Fonte: Arquivos Eletrosul.

Tabela 3-11: Outras Características Técnicas Garantidas Cabo OPGW

|                                                            |                             |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| <b>MÓDULO DE ELASTICIDADE INICIAL (kgf/mm<sup>2</sup>)</b> |                             |
| Cabo para raio óptico                                      | 1069356 kgf/cm <sup>2</sup> |
| Fios Condutores (kgf/mm <sup>2</sup> )                     | 16500                       |
| <b>RESISTÊNCIA MECÂNICA DO CABO (RMC)</b>                  |                             |
| Cabo para raio óptico (kgf)                                | 9585                        |
| <b>MÓDULO DE ELASTICIDADE INICIAL (kgf/mm<sup>2</sup>)</b> |                             |
| Cabo para raio óptico (kgf)                                | 1228982 kgf/cm <sup>2</sup> |
| <b>COEFICIENTE DE EXPANSÃO LINEAR INICIAL (°C-1)</b>       |                             |
| Cabo para raio óptico                                      | 14.10-E6                    |
| <b>COEFICIENTE DE EXPANSÃO LINEAR FINAL (°C-1)</b>         |                             |
| Cabo para raio óptico                                      | N/A                         |
| <b>COEFICIENTE DE EXPANSÃO LINEAR FINAL (°C-1)</b>         |                             |
| <b>RESISTÊNCIA ELÉTRICA A 20°C</b>                         |                             |
| Cabo para raio óptico                                      | 0,486 $\Omega/\text{km}$    |
| Fios Condutores                                            | 0,943 $\Omega/\text{km}$    |
| Tubo Metálico                                              | 0,984 $\Omega/\text{km}$    |
| Elemento Ranhurado                                         | N/A                         |
| Espaçador                                                  | N/A                         |

Fonte: Arquivos Eletrosul

### 3.6 CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAS DA LT BIGUAÇU-DESTERRO

Os tipos de estruturas utilizadas na LT Biguaçu-Desterro foram definidos de acordo com características do local de implantação das torres, bem como o tipo de circuito que por elas seriam ancorados.

Nas etapas de projetos da linha foram definidas as características principais das estruturas, metálicas e concreto, utilizadas na montagem da LT. Foram levados em consideração aspectos mecânicos, ambientais e características elétricas da LT. Somando-se a isto se faz o uso de normas que definem os critérios para determinar as cargas atuantes, condições de aplicação, bem com a verificação das cadeias de isoladores que irão compor o trecho. As normas utilizadas foram:

NBR 5422 – Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica – Procedimento;

NBR 8850 – Execução de Suportes Metálicos Trelçados para Linhas de Transmissão – Procedimento;

IEC 826 – Loading and strength of overhead transmission lines.

#### 3.6.1 Torres e Estruturas

O objetivo das estruturas de transmissão é fazer a sustentação dos cabos condutores e elementos associados ao sistema, tais como isoladores, ferragens e para-raios. Uma vez montada, as estruturas das torres ficam sujeitas a ação dos seguintes esforços:

- Cargas Verticais – São geradas em decorrência das componentes verticais de tracionamento dos cabos, peso dos acessórios de fixação dos cabos e peso próprio do cabo.
- Cargas Horizontais Transversas – Geradas em função da ação do vento sobre os cabos, estaiamento e componentes transversais de tracionamento dos cabos.
- Cargas Horizontais Longitudinais – Geradas em função da ação dos ventos sobre a direção da linha e por componentes longitudinais de tracionamento dos cabos.

As estruturas são classificadas em dois tipos de acordo com os esforços aplicados a elas, são eles:

- Estruturas Autoportantes – O esforço aplicado às estruturas são todos transmitidos as fundações;
- Estruturas Estaiadas – São flexíveis, os esforços aplicados são sustentados por estais (tiras de aço).

Nas estruturas, os cabos ainda podem estar dispostos de três formas:

- Triangular – Os condutores ficam dispostos em forma de triângulo, são estruturas estreitas e muito utilizadas em circuitos simples de 69kV.
- Horizontal – Os condutores são fixados em plano horizontal, utilizados em circuitos simples e tensão elevadas, até 750kV.
- Vertical – Os condutores se apresentam em plano vertical, sendo possível utilização para circuitos duplos, utilizados para tensões de até 230kV.

As estruturas podem ser construídas de madeira, material este que não é muito utilizado no Brasil. Também podem ser construídos de concreto armado, que é muito utilizada devido a fácil montagem, manutenção e possibilidade de colocação como, por exemplo, próximo às vias públicas. Já as estruturas metálicas, são feitas de aço ou alumínio, construídas em peças pequenas que facilita o transporte.

O trecho aéreo da linha de transmissão de 230kV Biguaçu-Desterro, como já mencionado, está segmentado em duas séries de estruturas, uma em circuito simples e outra em circuito duplo. Independentemente do tipo de circuito que será ancorado pelas estruturas, se faz necessário à análise dos parâmetros acima citados, para definir o tipo de estrutura mais adequado para cada ponto da LT destacam-se os parâmetros utilizados:

- Cargas de Vento Atuando Sobre as Estruturas Metálicas:

Este parâmetro é baseado na norma IEC 826, que define a força dos ventos no centro de gravidade do painel de altura  $h$ , aplicados à torres de seção retangular. A equação utilizada para realizar este cálculo pode ser observada na equação 3-1.

$$A_t = q_0(1 + 0,2 \cdot \sin^2 2\theta) \cdot (S_{T1} \cdot C_{xT1} \cdot \cos^2 \theta + S_{T2} \cdot C_{xT2} \cdot \sin^2 \theta) \quad \text{Equação 3-1}$$

Onde:

$A_{T(h)}$  = força do vento no painel da torre (kgf);

$q_0$  = pressão dinâmica de referência (kgf/m<sup>2</sup>);

$ST_i$  = área total líquida dos componentes da estrutura do painel “i” de altura “h” em plano vertical. (m<sup>2</sup>)

$C_{xTi}$  = coeficiente de exposição da área dos membros do painel em relação a área total do painel.

$\theta$  = ângulo em graus de incidência do vento com a face do painel da torre em relação ao plano cartesiano traçado no centro de gravidade da torre.

- Limitação do carregamento mecânico:

Define os vãos médios entre torres em função dos ângulos e deflexões da Linha de Transmissão, estas definições são dadas pela equação 3-2.

$$T = \gamma \cdot (n \cdot V_m \cdot P_V \cdot d \cdot \sin^2(\Omega) + V_{cad} \cdot \sin(\Omega) + n \cdot 2I_{MAX} \cdot \sin(\tau/2)) \quad \text{Equação 3-2}$$

**Nota:** para elaboração do cálculo considera-se ângulo de 90 graus de incidência de ventos sobre a torre.

Através da equação 3-2 é possível determinar o ângulo de balanço das cadeias de suspensão nas torres, conforme equação 3-3.

$$A = \arctg \left( \frac{k \cdot n \cdot q_0 \cdot d \cdot V_m + \frac{A_{CAD}}{2} + 2 \cdot n \cdot T \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{n \cdot w \cdot V_g + \frac{P_{CAD}}{2}} \right) \quad \text{Equação 3-3}$$

Os resultados são obtidos em graus.

Onde:

$\gamma$  = Coeficiente de Rugosidade do solo;

$K=0,32$  (figura 7 da NBR-5422 para  $V_p = 35,5 \text{ m/s}$ ;

$q_0 = 079 \text{ kgf/m}^2$  (pressão dinâmica de referencia);

$d = 0,0281 \text{ m}$  (diâmetro do cabo DRAKE);

$V_m$  = vento de vento máximo;

$P_{VCAD}$  = Pressão de vento na cadeia de isoladores =  $111 \text{ kgf/m}^2$ ;

$A_{CAD}$  = área líquida da cadeia de isoladores =  $0,36 \text{ m}^2$

$P_{CAD}$  = peso da cadeia de isoladores =  $70 \text{ kgf}$ ;

$n$  = numero de cabos por fase.

Depois de uma série de análises e estudos, foram definidas as estruturas que iriam ser implantadas na LT Biguaçu-Desterro. As tabelas 3-12 e 3-13 apontam as estruturas utilizadas:

Tabela 3-12: Estrutura Circuito Simples.

| <b>Torre</b> | <b>Aplicação</b>        | <b>Deflexão(°)</b> | <b>Vão médio(m)</b> | <b>Vão de Peso(m)</b> |
|--------------|-------------------------|--------------------|---------------------|-----------------------|
| <b>S2</b>    | Suspensão Simples       | 0                  | 435                 | 750                   |
|              |                         | 3                  | 344                 |                       |
| <b>R2</b>    | Suspensão Reforçada     | 0                  | 530                 | 850                   |
|              |                         | 8                  | 288                 |                       |
| <b>D2</b>    | Ancoragem Intermediária | 20                 | 300                 | 1200                  |
| <b>A2</b>    | Ancoragem Grande Ângulo | 55                 | 350                 | 1200                  |
|              | Terminal                | 0                  | 430                 | 500                   |

Fonte: Arquivos Eletrosul.

Tabela 3-13: Estruturas do Circuito Duplo.

| <b>Torre</b> | <b>Aplicação</b>        | <b>Deflexão(°)</b> | <b>Vão médio(m)</b> | <b>Vão de Peso(m)</b> |
|--------------|-------------------------|--------------------|---------------------|-----------------------|
| <b>DFS</b>   | Suspensão Simples       | 0                  | 380                 | 615                   |
| <b>DFZ</b>   | Suspensão Reforçada     | 0                  | 550                 | 840                   |
|              | Suspensão Reforçada     | 3                  | 461                 |                       |
| <b>DFN</b>   | Ancoragem Intermediária | 25                 | 400                 | 1000                  |
| <b>DFM</b>   | Ancoragem Grande Ângulo | 58                 | 350                 | 1000                  |
| <b>DFL</b>   | Tração Plena            | 0                  | 350                 | 415                   |
|              | Tração Reduzida         | 90                 | 50                  | 55                    |

Fonte: Arquivos Eletrosul.

As estruturas do circuito simples podem ser verificadas na figura 3-12.

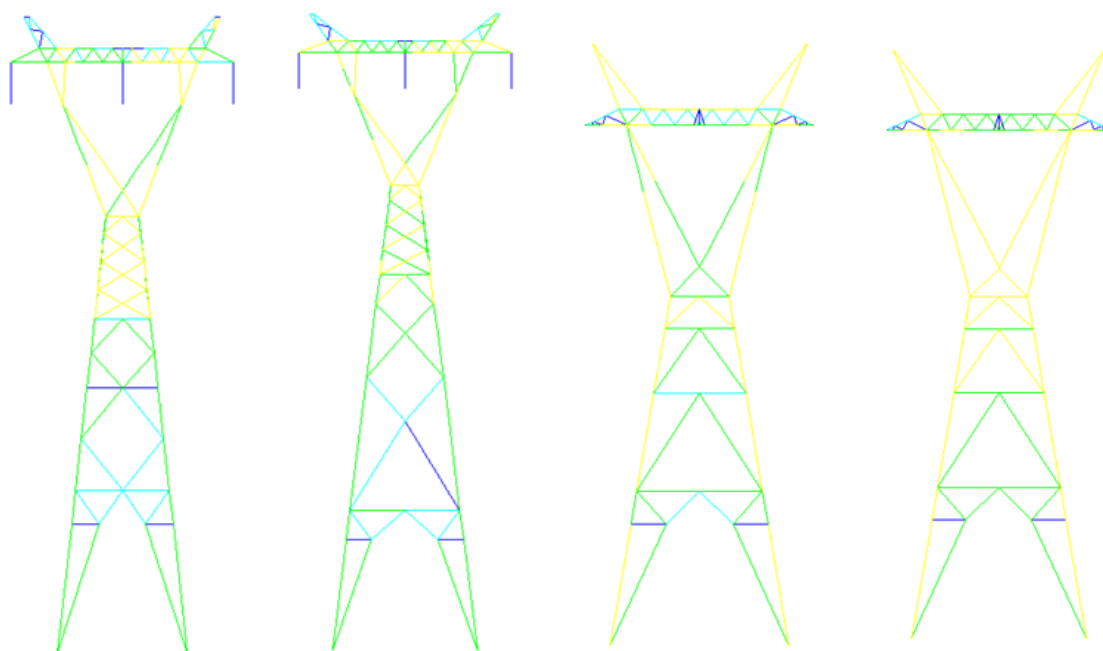


Figura 3-12: Estrutura S2, R2, D2 e A2.

Fonte: Arquivos Eletrosul

Todas as estruturas do circuito simples são do tipo autoportante, feitas de aço galvanizado, com os cabos horizontalmente posicionados. As diferenças entre elas são com as disposições das montagens das barras de aço, onde cada uma foi projetada para suportar um tipo de esforço mecânico.

As estruturas utilizadas nos circuitos duplos podem ser verificadas nas figuras 3-13 e 3-14.

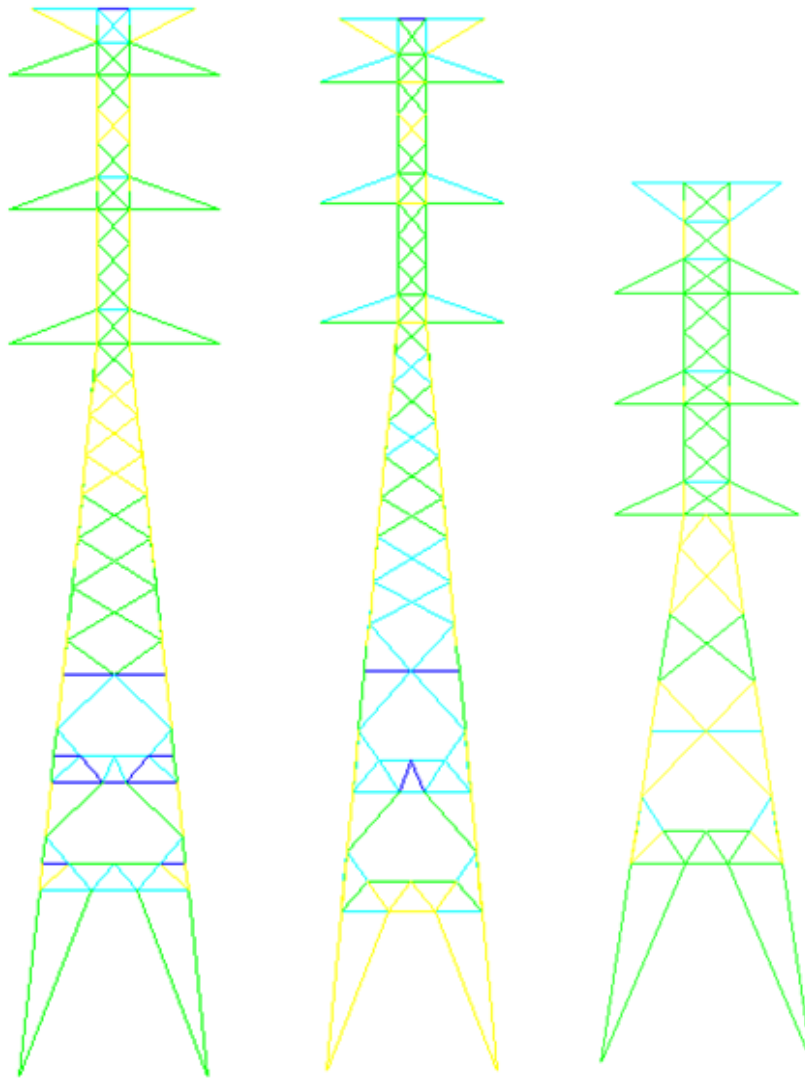


Figura 3-13: Estruturas DFS, DFZ e DFN.  
Fonte: Arquivos Eletrosul

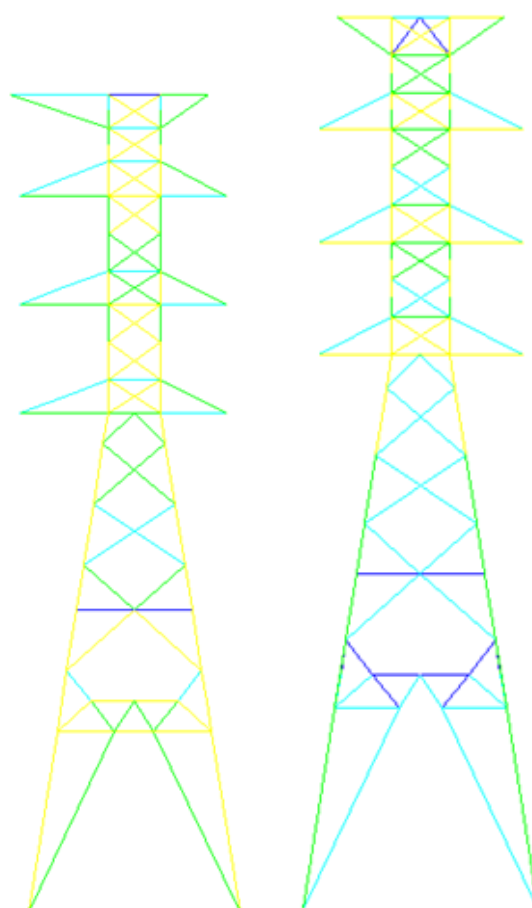


Figura 3-14: Estruturas DFM e DFL.  
Fonte: Arquivos Eletrosul

As estruturas do circuito duplo assim como as do circuito simples são do tipo autoportante, feitas de aço galvanizado, porém são verticalmente posicionadas. As diferenças entre os tipos de estruturas do circuito duplo também se dão em função do esforço mecânico aplicado à cada estrutura.

Além de estruturas de aço, na parte insular da linha foram utilizadas estruturas de concreto, todas do tipo do tipo autoportante e formação triangular. Os desenhos das estruturas podem ser verificados na figura 3-15.

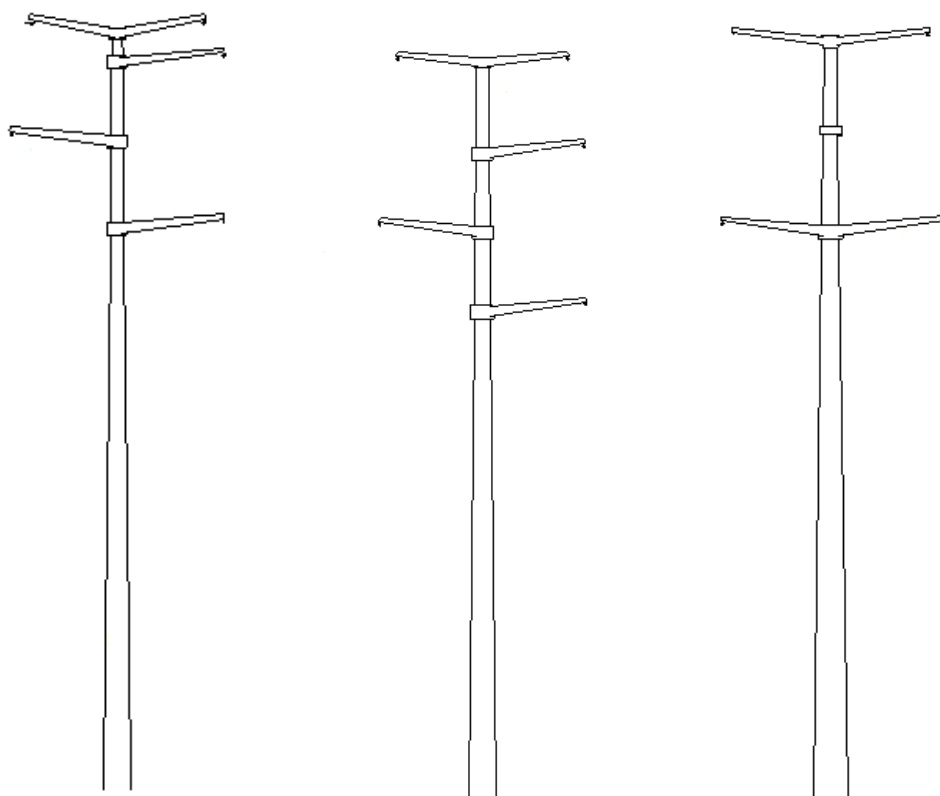


Figura 3-15: Estruturas de Concreto SSC, ASC e ASCE.  
Fonte: Arquivos Eletrosul

O valor dos vãos e tensões aplicadas a cada estrutura de concreto pode ser verificado na tabela 3-14.

Tabela 3-14: Tabelas de Vão e Tensões das Estruturas.

| Estrutura |       |      | Deflexão   | Vãos (m) |        | V. Peso |      | Tensão com vento |       |     |      |
|-----------|-------|------|------------|----------|--------|---------|------|------------------|-------|-----|------|
| Nº        | Tipo  | H    |            | Frente   | Médio  | Bás.    | 65°C | -2°C             | Drake | EHS | OPGW |
| 127       | A2    | 31,0 | 06°16' 26" | 191,24   | 0,00   | 191     |      |                  | 2539  | 873 | 1371 |
| 128       | ASC10 | 24,0 |            | 138,00   | 164,62 | 138     | 11   | 105              | 2479  | 822 | 1304 |
| 129       | ASC10 | 27,0 | 07°56' 40" | 189,52   | 163,76 | 198     | 70   | 173              | 2545  | 878 | 1377 |
| 130       | SSC   | 30,0 |            | 196,70   | 193,11 |         | 98   | 200              | 2545  | 878 | 1377 |
| 131       | SSC   | 30,0 |            | 204,21   | 200,46 |         | 00   | 201              | 2545  | 878 | 1377 |
| 132       | SSC   | 30,0 |            | 201,16   | 202,69 |         | 08   | 211              | 2545  | 878 | 1377 |
| 133       | ASC40 | 26,0 | 38°29' 20" | 192,61   | 196,89 | 188     | 80   | 177              | 2536  | 871 | 1368 |
| 134       | SSC   | 30,0 |            | 207,42   | 200,02 |         | 21   | 224              | 2536  | 871 | 1368 |

## UNISUL – Universidade do Sul de Santa Catarina

| Estrutura |       |      | Deflexão   | Vãos (m) |        | V. Peso |      | Tensão com vento |       |     |      |
|-----------|-------|------|------------|----------|--------|---------|------|------------------|-------|-----|------|
| Nº        | Tipo  | H    |            | Frente   | Médio  | Bás.    | 65°C | -2°C             | Drake | EHS | OPGW |
| 135       | SSC   | 30,0 |            | 186,96   | 197,19 |         | 89   | 189              | 2536  | 871 | 1368 |
| 136       | SSC   | 28,0 |            | 153,90   | 170,43 |         | 82   | 183              | 2536  | 871 | 1368 |
| 137       | ASC40 | 25,0 | 42°27' 39" | 102,28   | 128,09 | 111     | 15   | 112              | 2407  | 781 | 1249 |
| 138       | SSC   | 25,0 |            | 118,75   | 110,52 |         | 05   | 100              | 2407  | 781 | 1249 |
| 139       | ASC30 | 26,0 | 27°22' 28" | 152,19   | 135,47 | 152     | 37   | 150              | 2493  | 839 | 1325 |
| 140       | ASCE  | 25,0 |            | 124,00   | 138,10 | 124     | 53   | 159              | 2441  | 803 | 1277 |
| 141       | ASCE  | 23,0 |            | 101,80   | 112,90 | 102     | 18   | 119              | 2380  | 764 | 1256 |
| 142       | ASCE  | 21,0 |            | 114,56   | 108,18 | 115     | 9    | 90               | 2416  | 786 | 1225 |
| 143       | ASCE  | 22,0 | 05°17' 48" | 162,90   | 138,73 | 163     | 08   | 95               | 2509  | 850 | 1340 |
| 144       | A2    | 28,0 |            | 257,59   | 352,00 | 264     | 67   |                  |       |     |      |

Fonte: Arquivos Eletrosul

### 3.6.2 Isoladores

Os cabos condutores são sustentados pelas torres através de isoladores. Segundo Fernandes, 2009 os isoladores são responsáveis pela isolação das estruturas e ainda resistir a esforços mecânicos e elétricos vindos dos cabos condutores.

Existem diversos tipos de isoladores, sendo desenhado cada tipo de acordo com sua necessidade de aplicação. Os isoladores devem possuir alta resistência mecânica, deve possuir alta rigidez dielétrica e ainda sua superfície deve suportar poeira, neve, chuva, gases sem prejudicar a sua função principal, isolar o sistema.

Os materiais mais utilizados na formação de isoladores são:

- Porcelana Vitrificada – possui boa rigidez dielétrica e alta resistência mecânica ao impacto.
- Vidro Temperado – possui alta rigidez dielétrica, alta resistência mecânica, porém baixa resistência ao impacto.

- Polímero – possui alta rigidez dielétrica, alta resistência ao impacto e mecânica, maior leveza, facilidade de manuseio e instalação, maior durabilidade e excelente desempenho sob poluição.

Em linhas de transmissão são utilizados isoladores do tipo disco de suspensão, que podem ser visualizados na figura 3-16, onde cada disco possui um grau de isolação, e a composição de vários deles, formam uma cadeia de isoladores com nível de isolação mais elevado, portanto, a definição da quantidade de discos de isoladores que serão necessários para uma linha é definido conforme a classe de tensão da mesma.



Figura 3-16: Isolador do Tipo Disco de Vidro

Fonte: [http://i02.i.aliimg.com/img/pb/229/450/259/1280124680695\\_hz-fileserver2\\_1568979.jpg](http://i02.i.aliimg.com/img/pb/229/450/259/1280124680695_hz-fileserver2_1568979.jpg)

Na etapa de projetos para definição das cadeias de isoladores que seriam utilizados na construção da LT Biguaçu-Desterro foram levados em consideração os seguintes aspectos:

- Características Físicas;
- Características Geométricas;

- Características Mecânicas dos Materiais;
- Capacidade de resistência dos isoladores e das ferragens.

Por fim, tendo sido levado em consideração os aspectos acima citados, foi definido que para a LT, em específico, a melhor opção para isoladores seria os com as seguintes características:

Material: Vidro Temperado ou Porcelana;

Tipo de Engate: Concha-Bola;

Classe: 120kN, utilização em cadeias de suspensão, passagem e ancoragem;

Diâmetro de Disco: 254mm;

Passo: 146mm;

Distância de Escoamento: 300mm.

A figura 3-17 mostra as cadeias de isoladores utilizadas na LT Biguaçu-Desterro.

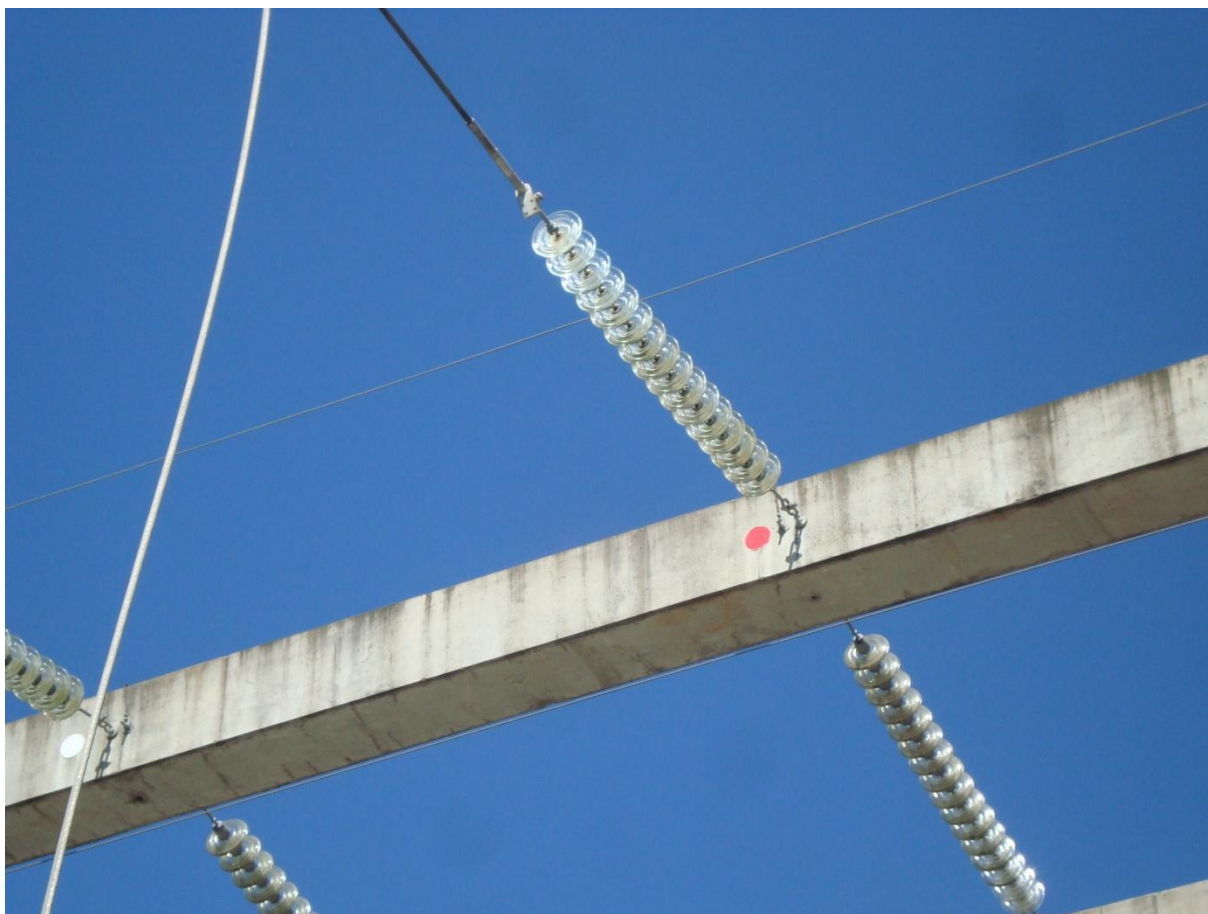


Figura 3-17: Cadeia de Suspensão de Isoladores.  
Fonte: Arquivos Pessoais das Autoras

Assim como no caso das estruturas, os isoladores também são definidos seguindo normas e padrões pré estabelecidos, são elas:

---

NBR 60120-Classe 16ª ou ANS-C29.2-Classe 52.2. - aplicação dos engates;

NBR-5422/1985 – Determina a capacidade de resistência dos isoladores e das Ferragens e determina as condições mínimas para utilização dos isoladores em cadeias de ancoragem, suspensão ou passagem.

As condições mínimas de esforços que os isoladores devem estar submetidos não devem ser superiores à:

40% da carga nominal de ruptura para cargas de duração prolongada (caso onde houver fator de vento reduzido);

50% da carga nominal de ruptura para cargas de lançamento ou de manutenção;

60% da carga nominal de ruptura para cargas de curta duração.

**Nota:** Estas porcentagens estão associadas a uma margem para o fator de segurança, utilizado para o projeto e especificação dos materiais.

#### **4 AS EXTREMIDADES DA LT 230 KV BIGUAÇU - DESTERRO**

De acordo com (KUHLKAMP, 2011) um sistema de transmissão de energia, tem como principal função, transportar energia elétrica produzida nas usinas de geração aos centros de distribuição e consumo. Do mesmo modo, o sistema de atendimento eletroenergético da Ilha é um sistema em corrente alternada, trifásico, composto por diversos equipamentos e LT's, sendo sua função principal transportar energia de usinas conectadas ao SIN para o consumo na Ilha de Santa Catarina

As SE's são compostas por um conjunto de instalações elétricas em média e/ou alta tensão que agrupam equipamentos como disjuntores, seccionadoras e transformadores, condutores e acessórios, destinados à manobras, transformação, proteção, medição, supervisão e controle das grandezas elétricas. As SE's podem ter uma ou mais funções, dependendo da sua necessidade e importância perante o SIN. As principais funções de uma SE são:

- Manobra de energia elétrica;
- Regulação da tensão de transmissão;
- Transformação para uma tensão mais baixa de subtransmissão;
- Interligação com outros sistemas.

Em suma, as SE's são pontos de convergência, entrada e saída, de LT, podendo ser classificadas como:

- SE de Manobra, efetuam manobras no mesmo nível de tensão;
- SE Elevadora, elevam o nível de tensão;
- SE Abaixadora, diminuem o nível de tensão;
- SE de Distribuição, diminuem a tensão para o nível de distribuição;
- SE de Regulação de Tensão, regularizam a tensão;
- SE Conversoras, convertem a tensão em corrente alternada em corrente contínua

e vice-versa.

#### 4.1 CONFIGURAÇÃO DAS SE'S BIGUAÇU E DESTERRO

As SE's Biguaçu e Desterro foram projetadas e construídas a céu aberto, utilizando o ar como isolante entre as partes energizadas empregando equipamentos de manobra, proteção e medição do tipo convencional. As únicas áreas blindadas, ainda assim, utilizam o ar como isolante, são os cubículos e painéis dos serviços auxiliares, com tensão máxima de 13,8kV.

A SE Biguaçu é uma das maiores do sistema da Eletrosul. É uma SE controladora, isto é, ela supervisiona e controla a distância, sete SE's. Sendo elas: SE Siderópolis, SE Itajaí, SE Jorge Lacerda A, SE Jorge Lacerda B, SE Palhoça, SE Desterro e SE Forquilha. A SE Forquilha é uma subestação que não pertence ao sistema da Eletrosul, entretanto pertence ao SIN. É uma SE que opera em três níveis de tensão, 525/230/138 kV. Além destas funções, controla e regula a tensão 525 kV da LT Campos Novos, faz interligações em 525 kV e 230 kV ao SIN e disponibiliza para a Celesc, a tensão no nível de 138 kV.

##### 4.1.1 Configuração da SE Biguaçu

Atualmente a configuração da SE Biguaçu é composta de:

**Pátio de 525 kV:**

- Disjuntor e Meio (DJ1/2);
- 2 Módulos de Entrada de Linha (EL), (LT Blumenau e LT Campos Novos, pertencentes ao sistema da Eletrosul);
- 1 Módulo de Conexão de Transformador (CT) 525 kV;
- 1 Módulo de CT 525 kV Reserva;
- 1 Módulos de Conexão de Reator (CR);
- 1 Módulo de CR Reserva.

**Pátio de 230 kV:**

- Barra Dupla a quatro Chaves;
- 4 Módulos de EL (LT Jorge Lacerda B, LT Blumenau, LT Desterro e LT Palhoça, pertencentes ao sistema da Eletrosul);
- 3 Módulos de CT 230 kV (CT);
- 1 Módulo de Transferência.

**Pátio de 138 kV:**

- Barra Dupla a quatro Chaves;
- 2 Módulos de CT 138 kV;
- 1 Módulo de Transferência;
- 2 Módulos de EL (Florianópolis I e II, pertencentes ao sistema da Eletrosul);
- 3 Módulos de EL (LT Camboriú Morro do Boi, LT Itajaí-Fazenda, LT Biguaçu Quintina Bocaiuva, pertencentes ao sistema da Celesc).

**4.1.2 Configuração da SE Desterro****Pátio de 230 kV:**

- Barra Dupla a quatro Chaves;
- 1 Módulo de EL (Biguaçu);
- 1 Módulo de CT 230 kV (CT);
- 1 Módulo de Transferência.

**Pátio de 138 kV:**

- Barra Dupla a quatro Chaves;
  - 1 Módulo de CT 138 kV;
  - 1 Módulo de Transferência,
  - 2 Módulos de EL (LT Trindade e LT Ilha Sul, pertencentes ao sistema da Celesc).
-

## 4.2 ESQUEMA ELÉTRICO E ARRANJO FÍSICO SE'S 230 KV

Como o foco de estudo deste trabalho é a LT 230 kV Biguaçu - Desterro serão abordados apenas os critérios de confiabilidade, para escolha do melhor esquema de manobra, bem como o arranjo físico de uma SE no nível de tensão 230 kV. Para a seleção de esquema elétrico e arranjo de SE's 230 kV, foi elaborado um estudo na Eletrosul com o objetivo de padronização das SE's neste nível de tensão. De acordo o estudo de padronização da Eletrosul, KUHLKAMP declara:

“A viabilidade da padronização do esquema de manobra e arranjo físico das subestações 230 kV, teve como base o crescimento previsto para o sistema de transmissão 230 kV, a diversificação dos esquemas de manobra face a incorporação ao sistema de subestações já operando, (...), principalmente, a crescente necessidade de redução de custos.

Para o desenvolvimento do trabalho de padronização das SE's 230 kV do sistema ELETROSUL, foi considerado como fundamental a classificação das subestações segundo níveis de importância dentro do sistema, de tal forma que fosse evitada a generalização de critérios e o conseqüente super-dimensionamento de projetos que não necessitem grau de confiabilidade elevado.” (KUHLKAMP, 2011, p. 12 e 13).

Para a realização do estudo foram selecionados somente os esquemas de manobra existentes no sistema de alta e extra-alta tensão pertencentes ao sistema da Eletrosul:

- Barra principal mais transferência (P-PT);
- Barra principal seccionada mais transferência (PST);
- Barra dupla a quatro chaves (BD4C);
- Barra dupla a cinco chaves (BD5C);
- Disjuntor e meio (DJ1/2);

Todos os esquemas de manobra foram comparados entre si, conforme tabela 4-1, e de acordo com os critérios de confiabilidade descritos a seguir:

1 - Nas SE's com bancos de transformadores 500/230 kV, um defeito de simples contingência não pode ocasionar a perda de potência maior que a correspondente a um banco de transformadores;

2 - Defeito nas barras;

3 - Defeito num circuito, com o caso de “falha de disjuntor”;

4 - Defeito durante manutenção em um dos componentes da subestação;

5 - Não foram considerados defeitos superiores a dupla contingência;

6 - Não foram considerados defeitos simultâneos em componentes.

Tabela 4-1: Comparação de Esquemas de Manobra

| ESQUEMAS<br>ITENS                            |            | P-PT                                 | PST                                  | BD4C                                 | BD5C                                 | DJ1/2              |
|----------------------------------------------|------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| Flexibilidade operativa                      |            | Pouco flexível                       | Flexível                             | Flexível                             | Flexível                             | Flexível           |
| Simplicidade na proteção, comando e controle |            | Simples                              | Complexo                             | Complexo                             | Complexo                             | Complexo           |
| Facilidade de expansão                       |            | Viável                               | Viável somente em um dos lados       | Viável                               | Viável                               | Viável             |
| Simplicidade de arranjo físico               |            | Simples                              | Simples                              | Simples                              | Simples                              | Simples            |
| Confiabilidade                               | Critério 1 | Não satisfaz                         | Satisfaz                             | Satisfaz                             | Satisfaz                             | Satisfaz           |
|                                              | Critério 2 | Satisfaz com restrições <sup>2</sup> | Satisfaz com restrições <sup>3</sup> | Satisfaz com restrições <sup>4</sup> | Satisfaz com restrições <sup>4</sup> | Satisfaz           |
|                                              | Critério 3 | Não satisfaz                         | Satisfaz com restrições <sup>5</sup> | Satisfaz com restrições <sup>5</sup> | Satisfaz com restrições <sup>5</sup> | Satisfaz           |
|                                              | Critério 4 | Satisfaz                             | Satisfaz                             | Satisfaz                             | Satisfaz                             | Satisfaz           |
| Custos (R\$)                                 |            | Custo mais baixo                     | Custo intermediário                  | Custo intermediário inferior         | Custo intermediário superior         | Custo mais elevado |
| Facilidade de manutenção                     |            | Satisfaz com restrições              | Satisfaz com algumas restrições      | Satisfaz                             | Satisfaz                             | Satisfaz           |

Fonte: KUHLEKAMP, 2011, p. 15, com adaptações das autoras.

“Em termos de circuito, uma barra de um sistema elétrico representa um nó elétrico.” (KINDERMANN, 2008, p. 126). Na prática a barra pode ser constituída de cabos ou tubulões de alumínio, com o mesmo nível de tensão nominal, conectados aos equipamentos manobra e transformadores de instrumentação.

Escolhido o esquema de manobra, é necessário idealizar um arranjo físico para a SE. Para isto, quando se projeta uma nova SE, o projetista deve ficar atento aos seguintes critérios:

<sup>2</sup> Um defeito na barra implicará na perda de todos os circuitos ligados à ela.

<sup>3</sup> Se o defeito for na barra de transferência, haverá perda do circuito que estiver ligado a ela; se nas outras, perda de todos os circuitos ligados a barra defeituosa. Das linhas ligadas a barra com defeito, poderá apenas ser selecionada uma delas e energizada através do disjuntor de transferência

<sup>4</sup> Se o defeito for na barra usada como transferência, haverá perda do circuito que estiver ligado a ela; se na outra barra, perda dos circuitos durante o tempo necessário à transferência para a barra não defeituosa que não poderá, então, ser usada como transferência.

<sup>5</sup> Nestes casos, haverá perda dos circuitos ligados a barra em que está conectado o disjuntor com defeito.

- Flexibilidade operativa;
- Simplicidade do sistema de comando, controle e proteção;
- Facilidade de manutenção;
- Simplicidade e clareza no arranjo físico;
- Minimizar o número de manobras necessárias para remover um equipamento;
- Independência de um circuito em relação aos demais;
- Facilidade de expansão;
- Confiabilidade nos arranjos;
- Comparação dos esquemas de manobra, quanto ao custo de implantação.

Dependendo da escolha do arranjo, há várias alternativas de manobras possíveis, o que obtêm um grau de flexibilidade da barra, possibilitando a manutenção da continuidade dos serviços, e, conseqüentemente, aumento da sua confiabilidade. Quanto maior a sua flexibilidade, maior será a sua confiabilidade e maior será o seu custo de implantação.

A proteção do sistema deverá proteger todas as manobras e configurações que o arranjo escolhido permitir:

- Superposição de Zonas;
- Transferência do esquema de proteção, acompanhando as novas configurações;
- Uso de esquema de proteção em separado.

E para atender as manobras do arranjo escolhido é utilizado intertravamentos entre os equipamentos utilizando, contatos auxiliares dos disjuntores e seccionadores e relés intermediários.

Todo o estudo de padronização de arranjos em 230 kV foi baseado nos Procedimentos de Rede regidos pelo ONS. Este por sua vez, define o esquema de manobra das novas SE's, cabendo ao agente transmissor ou distribuidor programar o arranjo físico que julgar mais adequado.

Diante da importância das SE's Biguaçu e Desterro no SIN, optou-se pela junção de dois arranjos, BD4C e P-PT, fornecendo um grau maior de confiabilidade e flexibilidade operativa.

“Dependendo da sua importância, a subestação pode ser constituída de diversas barras, para possibilitar manobras visando a continuidade de serviços, em decorrência de inspeção, manutenção preventiva, corretiva, ou de emergência devido à problemas (defeitos mecânicos ou elétricos) nos equipamentos.”(KINDERMANN, 2008, p. 127)

Quando da publicação do Módulo 2 do procedimento de rede do NOS, que trata dos padrões de desempenho da rede básica e os requisitos mínimos para as suas instalações, este tipo de configuração BD4C também foi regido pelo procedimento. No seu Submódulo 2.3 – Requisitos mínimos para transformadores e para subestações e seus equipamentos, são definidos os esquemas de manobra que devem ser adotados para as subestações do sistema elétrico brasileiro, conforme a seguir:

- Barramentos de tensão igual ou superior a 345 kV: barra dupla com disjuntor e meio;
- Barramentos 230 kV: barra dupla com disjuntor simples a quatro chaves.

No mesmo procedimento, são apresentadas condições especiais de arranjos de barramentos. Entretanto estes arranjos de barramento alternativos devem ser submetidos à aprovação do ONS que fará análise e encaminhará proposta de tratamento para a ANEEL. Portanto, todos os esquemas de manobra adotado para as SE's, deverão estar de acordo com as práticas adotadas pelos agentes do setor elétrico, ANEEL e ONS.

#### **4.2.1 Barra principal mais transferência (P-PT)**

O arranjo barra principal e transferência, conforme figura 4-1, é uma configuração em que a barra de transferência opera como “baypass”, associada com disjuntor de transferência. Porém na configuração P-PT, além desta função, a barra de transferência também poderá ser a principal.

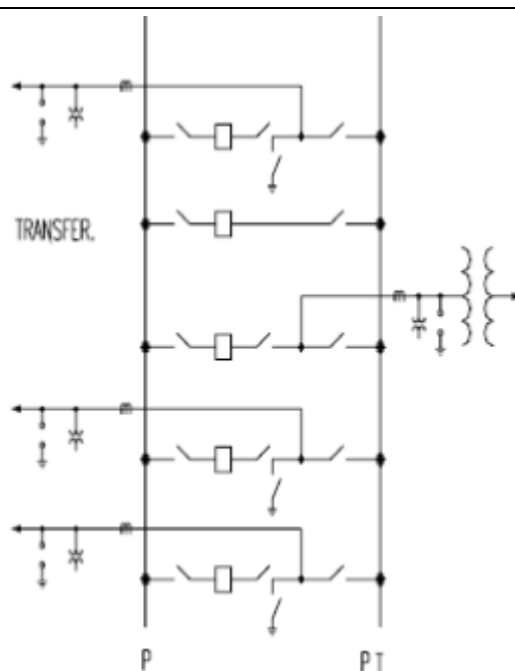


Figura 4-1: Arranjo Barra Principal mais Transferência  
 Fonte: KUHLKAMP, 2001, p. 14

#### 4.2.1.1 Vantagens

- Aumento da continuidade do fornecimento;
- Baixo nível de investimento;
- Facilidade operacional de manobra no circuito secundário;
- Se houver necessidade de manutenção em um disjuntor, este poderá ser retirado e substituído sem interrupção do fornecimento.

#### 4.2.1.2 Desvantagens

- Um defeito na barra implica na perda de todos os circuitos que estão ligados a ela;

---

- Não facilita a manutenção.

#### 4.2.2 Barra Principal Seccionada mais Transferência (PST)

Neste barramento, conforme figura 4-2, o seccionamento da barra faz com que este arranjo seja mais confiável que o arranjo anterior. O seccionamento pode ser efetuado por chaves seccionadoras ou por disjuntores. O arranjo se torna mais confiável devido a sua flexibilidade de manobras para efetuar o isolamento da barra com defeito. Quando há defeito em uma barra, mantêm a outra barra operando, perdendo apenas os circuitos ligados a barra defeituosa.

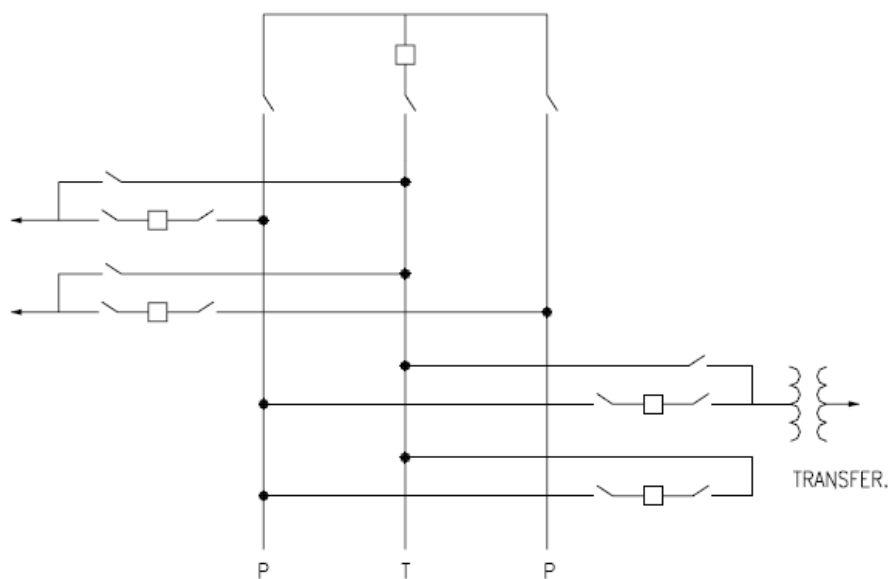


Figura 4-2: Arranjo Barra Principal Seccionada mais Transferência  
Fonte: KUHLEKAMP, 2001, p. 14

##### 4.2.2.1 Vantagens

- Continuidade do fornecimento aumentada;
- Baixo nível de investimento;

- Facilidade operacional de manobra no circuito secundário ou de média tensão;
- Capacidade de transferência da carga de uma barra para outra com a perda de um dos alimentadores de alta tensão, desde que cada alimentador tenha capacidade para suprimento de toda a carga;
- Alternativa de operar ou não com dois transformadores em paralelo;
- Qualquer equipamento pode ser retirado e substituído com interrupção do fornecimento somente da carga associada;
- A perda de uma barra afeta somente as cargas a ela conectadas.

#### 4.2.2.2 Desvantagens

- Havendo um defeito na barra de transferência, há perda do circuito que estiver ligado a ela;
- Perde-se o circuito ligado a barra defeituosa,
- Das linhas ligadas a barra com defeito, poderá apenas ser selecionada uma delas e energizada através do disjuntor de transferência;
- Se houver um defeito num circuito, como o caso de “falha de disjuntor”, há perda dos circuitos ligados a barra em que está conectado o disjuntor com defeito.

#### 4.2.3 Barra dupla a quatro chaves (BD4C)

Nesta configuração, cada módulo de entrada ou saída, possui um disjuntor associado a quatro chaves seccionadoras, conforme a figura 4-3. Isto possibilita uma flexibilidade muito grande, pois aumenta o número de manobras, caso necessário isolar um equipamento com defeito. Podem operar somente com uma barra, sendo que a outra pode ser utilizada como barra de transferência, ou podem operar com duas barras, possibilitando diversas combinações.

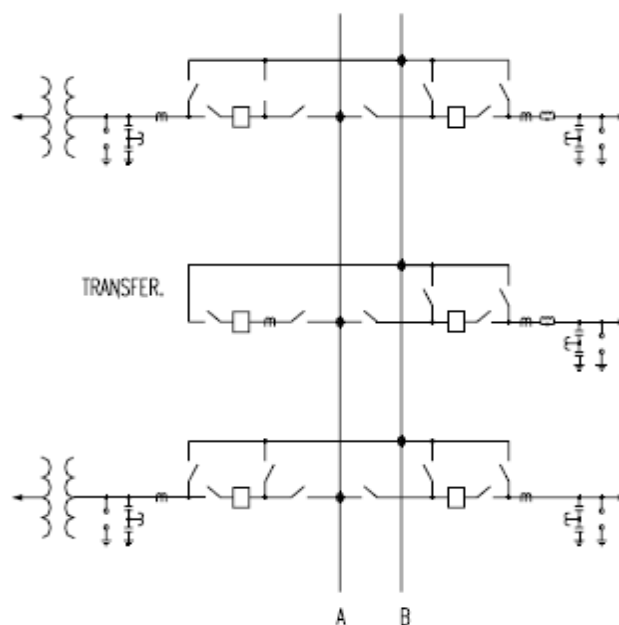


Figura 4-3: Arranjo Barra Dupla a Quatro Chaves  
 Fonte: KUHLEKAMP, 2001, p. 14

#### 4.2.3.1 Vantagens

- Continuidade do fornecimento aumentada;
- Facilidade operacional de transferência de circuitos de uma barra para outra;
- Defeito em qualquer disjuntor dos circuitos secundários não interrompe a carga associada;
- qualquer equipamento pode ser retirado e substituído, com interrupção do fornecimento somente da carga associada;
- A perda de uma barra não afeta as cargas a ela conectadas, já que podem ser transferidas para outra barra;
- Alto grau de continuidade e confiabilidade de fornecimento para o sistema.

#### 4.2.3.2 Desvantagens

- Maior exposição a falhas devido à grande quantidade de chaves e conexões;
- Se houver defeito na barra principal, há perda dos circuitos durante o tempo necessário à transferência para a barra não defeituosa que não poderá, então, ser usada como transferência;
- Se houver um defeito num circuito, como o caso de “falha de disjuntor”, há perda dos circuitos ligados a barra em que está conectado o disjuntor com defeito;
- Alto custo em relação aos barramentos P-PT e PST.

#### 4.2.4 Barra dupla a cinco chaves (BD5C)

Para ter maior versatilidade do esquema de manobra com relação ao arranjo BD4C, em que qualquer barra passa a ser utilizada como transferência, utiliza-se o esquema de BD5C, ou seja, um disjuntor e cinco chaves seccionadoras, conforme mostra a figura 4.4.

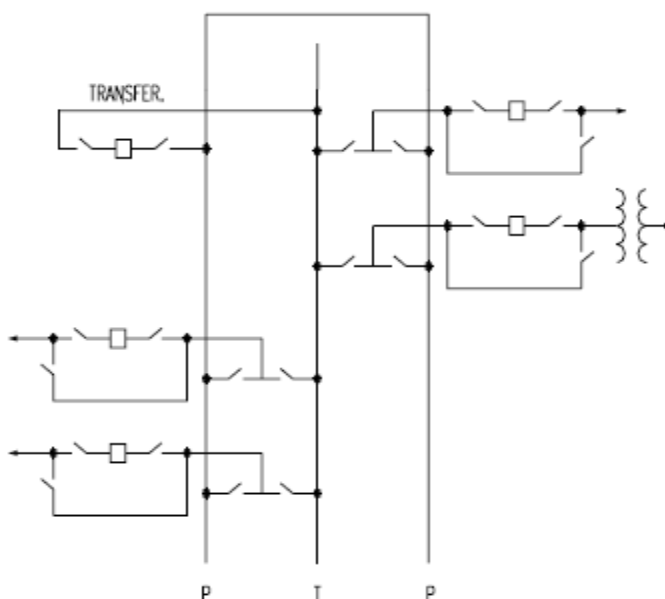


Figura 4-4: Arranjo Barra Dupla a Cinco Chaves  
Fonte: KUHLKAMP, 2001, p. 14

#### 4.2.4.1 Vantagem

- Qualquer barra pode ser utilizada como barra de transferência.

#### 4.2.4.2 Desvantagens

- Maior exposição a falhas devido à grande quantidade de chaves e conexões;
- Se ocorrer defeito na barra usada como transferência, há perda do circuito que estiver ligado a ela;
- Se houver defeito na barra principal, há perda dos circuitos durante o tempo necessário à transferência para a barra não defeituosa que não poderá, então, ser usada como transferência;
- Se houver um defeito num circuito, como o caso de “falha de disjuntor”, há perda dos circuitos ligados a barra em que está conectado o disjuntor com defeito;
- Alto custo em relação aos arranjos apresentados anteriormente.

#### 4.2.5 Disjuntor e meio (DJ1/2)

Utilizado em subestações de grande porte alimentando cargas de alta relevância. Seu arranjo pode ser visualizado na figura 4-5.

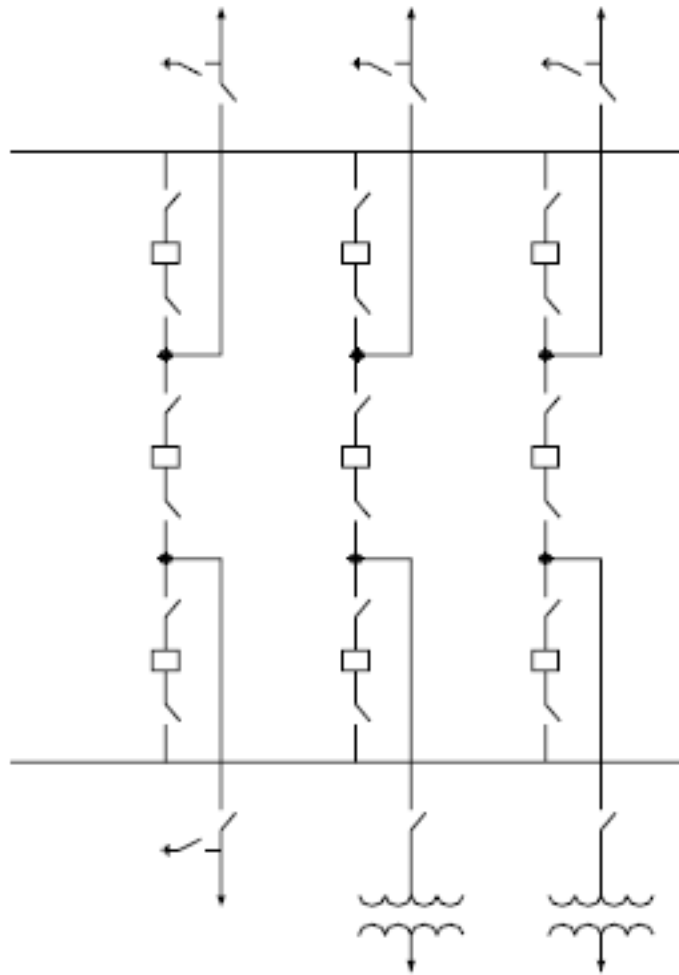


Figura 4-5: Arranjo Disjuntor e Meio  
Fonte: KUHLKAMP, 2001, p. 14

#### 4.2.5.1 Vantagens

- Continuidade e confiabilidade do fornecimento aumentada;
- Facilidade operacional de transferência de circuitos de uma barra para outra;
- curto tempo de recomposição do sistema;
- Defeito em qualquer disjuntor ou chaves dos circuitos não interrompe a carga associada;
- Qualquer equipamento pode ser retirado e substituído sem interrupção do fornecimento.

- Qualquer barra pode ser retirada de serviço para manutenção;
- A perda de uma barra não afeta as cargas a ela conectadas, já que podem ser transferidas para outra barra.

#### 4.2.5.2 Desvantagens

- Investimento muito elevado;
- Complexidade operacional no esquema de proteção.

### 4.3 MÓDULO DE MANOBRA – ENTRADA DE LINHA

As extremidades da LT 230 kV Biguaçu – Desterro, localizadas nas SE's Desterro e Biguaçu, são fixadas ao pórtico de estrutura de concreto, a partir de conjuntos de isoladores. No caso da LT 230 kV são utilizados 16 isoladores de disco vidro tipo Garfo Olhal. A partir do pórtico, tem-se o módulo de EL. Este módulo é composto por equipamentos como os transformadores de instrumentos que fazem parte do sistema de proteção desta LT e por equipamentos de manobra, responsáveis pela conexão da LT no barramento da SE.

O arranjo físico é a disposição dos equipamentos no pátio da SE e dependem do esquema de manobra adotado e da interligação dos equipamentos com os demais componentes dos módulos que compõem a SE.

Segundo as Diretrizes de Orçamento da Eletrobrás, define-se módulo de manobra como:

“(...) o conjunto de toda instalação necessária para a conexão dos principais equipamentos da SE e interligação da SE com as Linhas de Transmissão. Como por exemplo: Entrada de Linha, Conexão do Auto/Transformador, Interligação de Barramentos, Conexão de Banco de Capacitores Paralelo, Conexão de Reator de Barra ou de Linha (ELETROBRÁS, 2005, p. 10).

No decorrer deste item serão apresentados os equipamentos que constituem o Módulo de Manobra de EL.

- Três pára-raios monopolares;
- Três transformadores de potencial capacitivo monopolares;
- Três transformadores de corrente monopolares;
- Duas Chave Seccionadora Pantográfica com Fechamento Vertical (SPV-3);
- Duas Chaves Seccionadora com Abertura Vertical (AV);
- Três Disjuntores monopolares;

Equipamentos com as mesmas características e disposição física da EL Desterro, é encontrado na EL Biguaçu na SE Desterro. Isto ocorre devido à intercambiabilidade e interoperabilidade de equipamentos que a Eletrosul adotou em seu sistema. Ou seja, qualquer equipamento desde que seja de mesmo modelo e fabricante dos demais equipamentos pertencentes ao módulo de manobra, pode ser usado em qualquer SE do mesmo nível de tensão. A figura 4-6, mostra o módulo de entrada de linha LT Desterro na SE Biguaçu.



Figura 4-6: Módulo de EL 230 kV: à esquerda LT Desterro e à direita LT Palhoça na SE Biguaçu  
Fonte: Arquivo pessoal das autoras

#### 4.3.1 Pára-raios (PR)

É um equipamento cuja função é a de proteger os sistemas elétricos contra surtos temporários de tensão, como surtos de manobras e descargas atmosféricas, evitando que estes surtos ao se propagarem na LT, cheguem aos equipamentos da SE's, danificando então o sistema.

Os PR's utilizados no módulo de EL nas SE Desterro e SE Biguaçu são de óxido de zinco (ZnO), possuindo uma alta capacidade de absorção de energia e curva característica ( $V \times I$ ) não linear, possibilitando a utilização do equipamento sem centelhadores em série, minimizando os problemas eletromecânicos e incertezas com relação à atuação do PR.

Em suma, os PR's são equipamentos responsáveis por funções de grande importância nos sistemas elétricos de potência, contribuindo absolutamente para a sua confiabilidade, economia e continuidade de operação.



Figura 4-7: Pára-raios da LT Biguaçu – Desterro, fase C na SE Biguaçu  
Fonte: Arquivo pessoal das Autoras

#### 4.3.1.1 Finalidade

- Proteger os sistemas elétricos contra surtos temporários de tensão, como surtos de manobras e descargas atmosféricas.

#### 4.3.1.2 Características Técnicas

A tabela 4-2, mostra as principais características técnicas dos PR's, figura 4-7, utilizados nos módulos de EL da SE Biguaçu e Desterro.

Tabela 4-2: Características Técnicas dos PR's da LT 230 kV Biguaçu - Desterro

|                                                 | SE Biguaçu                       | SE Desterro                |
|-------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| <b>Classe de Tensão (kV)</b>                    | 230                              | 230                        |
| <b>Tipo do Elemento</b>                         | Óxido de Zinco (ZnO) / Porcelana | Óxido de Zinco / Porcelana |
| <b>Tensão Nominal (kV)</b>                      | 228                              | 228                        |
| <b>Tensão Máxima de Operação Contínua (kV)</b>  | 182                              | 182                        |
| <b>Corrente de Descarga Nominal (kA)</b>        | 20                               | 20                         |
| <b>Tensão Residual Impulso Atmosférico (kV)</b> | 590                              | 590                        |
| <b>Classe de Descarga Linhas de Transmissão</b> | 4                                | 4                          |
| <b>Momento Cantilever (Nm)</b>                  | 4300                             | 4300                       |
| <b>Massa (kg)</b>                               | 208                              | 208                        |
| <b>Altura (cm)</b>                              | 2930                             | 2930                       |
| <b>Indica Medidor de Corrente</b>               | Sim                              | Sim                        |
| <b>Indica Contador de descarga</b>              | Sim                              | Sim                        |
| <b>Fabricante</b>                               | Siemens                          | Siemens                    |

Fonte: Elaboração própria das autoras

### 4.3.2 Transformador de Corrente (TC)

É um transformador de instrumento, destinado a reproduzir no seu circuito secundário, uma amostra da corrente que circula no enrolamento primário, com proporções definidas, conhecidas e adequadas, sem alterar sua posição fasorial. Por fornecerem correntes suficientemente reduzidas e isoladas do circuito primário, são utilizados na alta tensão (AT) possibilitando seu uso por instrumentos elétricos de medição, controle e proteção.

Os TC's utilizados nos módulos de EL, são do tipo coluna ou pedestal. Este tipo de TC requer grande isolamento e os enrolamentos primários e secundários são enclausurados dentro de um invólucro de porcelana, imerso em óleo isolante. Podem ser classificados em:

- TC para serviços de medição: Utilizados para medição de correntes em alta tensão, possuem características de boa precisão (0,3% e 0,6% de erro de medição) e baixa corrente de saturação (4 vezes a  $I_{\text{nominal}}$ ). Logo, o TC de medição deve manter sua precisão para correntes de carga normal. Durante a ocorrência de um curto circuito é necessário que a corrente no secundário do TC não aumente na mesma proporção da corrente primária.

- TC para serviços de proteção: Utilizados para proteção de circuitos de alta tensão. Devem ser conectados aos relés do tipo ação indireta, ou relés secundários, pois possibilitam a operação dos relés sem que estejam ligados diretamente no primário. São caracterizados pela baixa precisão (0,6% de erro de medição) e elevada corrente de saturação (20 vezes a  $I_{\text{nominal}}$ ). Por suportar uma corrente de curto-circuito alta, possuem um núcleo magnético de seção transversal grande, para não saturar no instante do curto-circuito.

#### 4.3.2.1 Finalidades

- Isolar equipamentos de medição, controle e relés do circuito de AT;
- Fornecer no seu secundário uma corrente proporcional ao seu primário;
- Prover no seu secundário uma corrente de dimensões adequadas para serem usadas pelos medidores e pelos relés;

## 4.3.2.2 Características Técnicas

A tabela 4-3, mostra as principais características técnicas dos TC's, figura 4-8, utilizados nos módulos de EL da SE Biguaçu e Desterro.

Tabela 4-3: Características Técnicas dos TC's da LT Biguaçu - Desterro

|                                                    | <b>SE Biguaçu</b>                 | <b>SE Desterro</b>                |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Classe de tensão (kV)</b>                       | 230                               | 230                               |
| <b>Tipo de Isolamento</b>                          | Líquido - isolante                | Líquido - isolante                |
| <b>Nível de Isolamento (kV)</b>                    | 395 – 950                         | 395 – 950                         |
| <b>Corrente Curta Duração Térmica (kA)</b>         | 40                                | 40                                |
| <b>Corrente Dinâmica (kA)</b>                      | 100                               | 100                               |
| <b>Tipo de Instalação</b>                          | Exterior                          | Exterior                          |
| <b>Classe de Exatidão para Proteção</b>            | 5VA-10P20                         | 5VA-10P20                         |
| <b>Classe de Exatidão para Medição</b>             | 5VA-0,2                           | 5VA-0,2                           |
| <b>Quantidade de enrolamentos para Proteção</b>    | 3                                 | 3                                 |
| <b>Quantidade de enrolamentos para Medição</b>     | 1                                 | 1                                 |
| <b>Medição de Faturamento</b>                      | Não                               | Não                               |
| <b>Volume Óleo Isolante (l)</b>                    | 273                               | 273                               |
| <b>Massa Líquido Isolante (kg)</b>                 | 240                               | 240                               |
| <b>Corrente no Secundário (A)</b>                  | 1                                 | 1                                 |
| <b>Corrente Proteção – Ligação Série (A)</b>       | 600/800/1000/1200/1600/2000       | 600/800/1000/1200/1600/2000       |
| <b>Corrente Proteção – Fator Térmico Série (A)</b> | 1,5/1,5/1,5/1,5/1,5/1,5           | 1,5/1,5/1,5/1,5/1,5/1,5           |
| <b>Corrente Proteção – Valor X/R Série:</b>        | 23,6/23,6/23,6/23,6/23,6/23,6/3,6 | 23,6/23,6/23,6/23,6/23,6/23,6/3,6 |
| <b>Corrente Medição – Ligação Série (A)</b>        | 600/800/1000/1200/1600/2000       | 600/800/1000/1200/1600/2000       |
| <b>Corrente Medição – Fator Térmico Série (A)</b>  | 1,5/1,5/1,5/1,5/1,5/1,5           | 1,5/1,5/1,5/1,5/1,5/1,5           |
| <b>Fabricante</b>                                  | ABB                               | ABB                               |

Fonte: Elaboração própria das autoras



Figura 4-8: TC's da LT Biguaçu – Desterro, na SE Biguaçu  
Fonte: Arquivo pessoal das autoras

#### 4.3.3 Transformador de Potencial Capacitivo (TPC)

É um transformador destinado especialmente para fornecer o sinal de tensão a instrumentos de medição, controle e proteção a partir do seu secundário. Ele deve reproduzir no seu secundário, uma réplica da tensão do sistema elétrico, com menor erro possível. Assim, em qualquer mudança no potencial do circuito primário, se refletirá com precisão nos medidores e dispositivos de proteção que estão conectados nos terminais do secundário.

São projetados e construídos para suportarem uma sobretensão de 10% em regime permanente. Como alimentam instrumentos de alta impedância, como volímetros, bobina de potencial de wattímetros e medidores de energia elétrica, a corrente no secundário é muito pequena, tendo um funcionamento quase a vazio.

Podem ser TPC ou Transformadores de Potencial Indutivo (TPI). Não há uma preferência na utilização do TPI ou TPC nas instalações elétricas. Geralmente o TPI é utilizado em instalações até 138 kV enquanto o TPC é dominante em instalações superiores a este valor.

#### 4.3.3.1 Finalidades

- Isolar o circuito de baixa tensão (BT) do circuito de AT;
- Reproduzir os efeitos transitórios e regime permanente aplicados ao circuito de AT e o mais fielmente possível no circuito de BT.

#### 4.3.3.2 Características Técnicas

A tabela 4-4, mostra as principais características técnicas dos TPC's, figura 4-9, utilizados nos módulos de EL da SE Biguaçu e Desterro.

Tabela 4-4: Características Técnicas dos TPC's da LT Biguaçu – Desterro

|                                            | SE Biguaçu                   | SE Desterro                  |
|--------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| <b>Classe de Tensão (kV)</b>               | 230                          | 230                          |
| <b>Tipo Capacitor</b>                      | Com Dispositivo de Potencial | Com Dispositivo de Potencial |
| <b>Tipo de Instalação</b>                  | Exterior                     | Exterior                     |
| <b>Tipo do Dielétrico</b>                  | A óleo                       | A óleo                       |
| <b>Relação das Tensões da Proteção</b>     | 2000/1200                    | 2000/1200                    |
| <b>Relação das Tensões da Proteção</b>     | 2000/1200                    | 2000/1200                    |
| <b>Classe de Exatidão Proteção</b>         | 0,6WXY                       | 0,6WXY                       |
| <b>Classe de Exatidão Medição</b>          | 0,3WXY                       | 0,3WXY                       |
| <b>Quantidade de Enrolamentos Proteção</b> | 1                            | 1                            |
| <b>Quantidade de Enrolamentos Medição</b>  | 1                            | 1                            |

|                                        | SE Biguaçu         | SE Desterro        |
|----------------------------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Capacitância total (pF)</b>         | 7500               | 7500               |
| <b>Tensão Nominal (kV)</b>             | 230                | 230                |
| <b>Máxima Operação (kV)</b>            | 245                | 245                |
| <b>Nível Tensão de Isolamento (kV)</b> | 395/950            | 395/950            |
| <b>Frequência de Operação (Hz)</b>     | 60                 | 60                 |
| <b>Carga de Exatidão (VA)</b>          | 150                | 150                |
| <b>Potência Térmica (VA)</b>           | 1000               | 1000               |
| <b>Massa do líquido Isolante (kg)</b>  | 76                 | 81                 |
| <b>Fabricante</b>                      | TRE Trench Eletric | TRE Trench Eletric |

Fonte: Elaboração própria das autoras



Figura 4-9: TPC's da LT Biguaçu – Desterro na SE Biguaçu

Fonte: Arquivo pessoal das autoras

#### 4.3.4 Disjuntores (DJ)

É um dispositivo eletromecânico, com funcionamento similar ao interruptor automático. Protege os equipamentos de uma subestação, como transformadores, reatores, capacitores, barramentos e LT's, contra possíveis danos causados por curto-circuito e sobrecargas elétricas, isolando o equipamento ou LT com problema do sistema elétrico. Após a interrupção, o disjuntor deve isolar e resistir às tensões do sistema.

Além de dispositivos de proteção, os disjuntores são utilizados em manobras, pois permite interromper por comando local ou remoto a passagem de corrente elétrica em um módulo. Uma das principais características dos disjuntores é a sua capacidade de rearmamento automático, depois de interromperem a corrente em virtude da ocorrência de uma falha. Por fim, o disjuntor deve atuar quando comandado, ou seja, deve haver um alto grau de confiabilidade.

##### 4.3.4.1 Finalidade

- Destinado à manobra e à proteção de circuitos primários capaz de interromper grandes correntes de curto-circuito durante a ocorrência de um defeito;
- Interromper corrente de falta tão rapidamente quanto possível, para limitar a um mínimo os possíveis danos causados aos equipamentos pelos curtos-circuitos;
- Interromper correntes normais de carga, correntes de magnetização de transformadores e reatores e as correntes capacitivas de banco de capacitores e de linhas a vazio, para que os seus efeitos térmicos e mecânicos não causem danos ao sistema elétrico.

## 4.3.4.2 Características Técnicas

A tabela 4-5, mostra as principais características técnicas dos DJ's, figura 4-10, utilizados nos módulos de EL da SE Biguaçu e Desterro.

Tabela 4-5: Características Técnicas dos DJ's da LT Biguaçu – Desterro

|                                                   | <b>SE Biguaçu</b>             | <b>SE Desterro</b>            |
|---------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| <b>Classe de Tensão (kV)</b>                      | 230                           | 230                           |
| <b>Tipo de Extinção do Arco</b>                   | Hexafluoreto de Enxofre (SF6) | Hexafluoreto de Enxofre (SF6) |
| <b>Tipo de Acionamento</b>                        | Mola                          | Mola                          |
| <b>Corrente Nominal (A)</b>                       | 3150                          | 3150                          |
| <b>Tensão Nominal (kV)</b>                        | 245                           | 245                           |
| <b>Tempo de Interrupção (ms)</b>                  | 50                            | 50                            |
| <b>Tipo de Instalação</b>                         | Exterior                      | Exterior                      |
| <b>Acionamento do Equipamento</b>                 | Monopolar                     | Monopolar                     |
| <b>Interrupção Simétrica (kA)</b>                 | 40                            | 40                            |
| <b>Tensão Auxiliar (Vcc)</b>                      | 125                           | 125                           |
| <b>Frequência de Operação (Hz)</b>                | 60                            | 60                            |
| <b>Tensão de Controle (V)</b>                     | 125                           | 125                           |
| <b>Tensão nominal do Motor de Acionamento (V)</b> | 220                           | 220                           |
| <b>Fabricante</b>                                 | Crompton Greaves              | Crompton Greaves              |

Fonte: Elaboração própria das autoras



Figura 4-10: TPC's da LT Biguaçu – Desterro na SE Biguaçu  
Fonte: Arquivo pessoal das autoras

#### 4.3.5 Chaves Seccionadoras (CS)

É um equipamento destinado a interromper, de modo visível, a continuidade metálica de um determinado circuito. Devido a seu poder de interrupção ser praticamente nulo, as chaves seccionadoras devem ser operadas com o circuito a vazio, ou seja somente com tensão.



Figura 4-11: Chave Seccionadora Abertura Vertical da LT Biguaçu – Desterro na SE Biguaçu  
Fonte: Arquivo pessoal das autoras

#### 4.3.5.1 Finalidade

- Abrir, fechar, transferir ou isolar as ligações de um circuito elétrico.

#### 4.3.5.2 Características Técnicas

A tabela 4-6, mostra as principais características técnicas dos CS's, figuras 4-11 e 4-12, utilizados nos módulos de EL da SE Biguaçu e Desterro.

Tabela 4-6: Características Técnicas das Chaves Seccionadoras da LT Biguaçu - Desterro

|                                                                        | SE Biguaçu | SE Desterro |
|------------------------------------------------------------------------|------------|-------------|
| <b>Chave Seccionadora Pantográfica com Fechamento Vertical (SPV-3)</b> |            |             |
| <b>Classe de Tensão (kV)</b>                                           | 230        | 230         |

|                                                       | <b>SE Biguaçu</b>                        | <b>SE Desterro</b>                       |
|-------------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|
| <b>Tipo da Chave Seccionadora</b>                     | Pantográfica “SV”<br>Fechamento Vertical | Pantográfica “SV”<br>Fechamento Vertical |
| <b>Tensão Nominal (kV)</b>                            | 242                                      | 242                                      |
| <b>Corrente Nominal (A)</b>                           | 2000                                     | 2000                                     |
| <b>Tensão Máxima (kV)</b>                             | 395                                      | 395                                      |
| <b>Tensão de Controle (V)</b>                         | 125                                      | 125                                      |
| <b>Modo Mecânico de Acionamento</b>                   | GMU                                      | GMU                                      |
| <b>Tipo de Acionamento</b>                            | Motorizado                               | Motorizado                               |
| <b>Quantidade de Pólos</b>                            | 3                                        | 3                                        |
| <b>Tipo de Instalação</b>                             | Exterior                                 | Exterior                                 |
| <b>Tensão Nominal do Motor de Acionamento (V)</b>     | 480                                      | 480                                      |
| <b>Fabricante</b>                                     | ARTECHE                                  | ARTECHE                                  |
| <b>Chaves Seccionadora com Abertura Vertical (AV)</b> |                                          |                                          |
| <b>Classe de Tensão (kV)</b>                          | 230                                      | 230                                      |
| <b>Tipo da Chave Seccionadora</b>                     | Abertura Vertical (AV)                   | Abertura Vertical (AV)                   |
| <b>Tensão Nominal (kV)</b>                            | 242                                      | 242                                      |
| <b>Corrente Nominal (A)</b>                           | 2000                                     | 2000                                     |
| <b>Tensão Máxima (kV)</b>                             | 395                                      | 395                                      |
| <b>Tensão de Controle (V)</b>                         | 125                                      | 125                                      |
| <b>Modo Mecânico de Acionamento</b>                   | GMU                                      | GMU                                      |
| <b>Tipo de Acionamento</b>                            | Motorizado                               | Motorizado                               |
| <b>Quantidade de Pólos</b>                            | 3                                        | 3                                        |
| <b>Tipo de Instalação</b>                             | Exterior                                 | Exterior                                 |
| <b>Tensão Nominal do Motor de Acionamento (V)</b>     | 480                                      | 480                                      |
| <b>Fabricante</b>                                     | ARTECHE                                  | ARTECHE                                  |

Fonte: Elaboração própria das autoras



Figura 4-12: Chave Seccionadora Semi Pantográfica da LT Biguaçu – Desterro na SE Biguaçu

Fonte: Arquivo pessoal das autoras

#### 4.4 A COMUNICAÇÃO ENTRE AS EXTREMIDADES DA LT 230 KV BIGUAÇU - DESTERRO

Os requisitos necessários a um sistema de energia elétrica são a sua disponibilidade e a sua qualidade, ou seja, frequência e tensão, variando o mínimo possível. Para que sejam assegurados esses requisitos e, sobretudo a proteção do elemento humano, é necessária que se incremente facilidades que possibilitem a rápida remoção de trechos de circuitos na presença de defeitos ou funcionamento irregular. Essas facilidades são providas pelos circuitos de proteção.

O mais importante objetivo dos circuitos de proteção é a rapidez na eliminação de defeitos dentro do circuito a ser protegido, para que o mesmo seja rapidamente isolado, de forma que as instalações não fiquem expostas as correntes de falhas por um tempo superior a sua capacidade de assimilá-las, e também a que se minimizem as possibilidades de repercussão do distúrbio no restante do sistema.

Os primeiros dispositivos que buscavam dar proteção aos equipamentos e componentes dos sistemas de energia elétrica eram os relés eletromecânicos de atração eletromagnética e de indução eletromagnética. Os relés de atração eletromagnética são do tipo: solenóides, atração de armadura, contatores, térmicos, de êmbolos. Estes relés eram conectados a circuitos de potência limitada e não possuíam uma lógica e circuitos de controle. Posteriormente, lançou-se o relé de indução eletromagnética, tipo disco de indução, que utilizava o princípio de funcionamento do motor de indução para provocar o seu movimento.

Com o surgimento dos semi-condutores, lançou-se os relés estáticos que já vieram com vantagens adicionais em comparação com os relés eletromecânicos, como menor custo, menor desgastes, maior rapidez na atuação e maior compactação.

Com o advento da tecnologia digital, a era dos microprocessadores industriais, surgiram os relés digitais, multifunções ou microprocessados, as vantagens era a integração das funções da proteção em somente um componente compacto. O grau de confiabilidade, alta precisão de medição, facilidade de interface homem-equipamento, possibilidade de oscilografia, localização de faltas em linhas de transmissão, interface com os circuitos de comunicação e transferência remota de dados.

Face à importância do sistema elétrico, o custo dos equipamentos e a garantia de disponibilização de energia para os acessantes, o ONS recomenda, através do procedimento de rede, elaborar um esquema de proteção bem dimensionado, tendo proteção primária ou principal, e outra redundante, denominada secundária, alternada, back-up ou de retaguarda, dependendo do projetista.

Os relés de proteção primária são a primeira linha de defesa do sistema. Os relés de retaguarda atuam em caso de falha na proteção primária. Uma proteção pode falhar, visto que podem ocorrer falhas nos circuitos de corrente e/ou tensão fornecidas aos relés, nos circuitos de corrente contínua, nos relés auxiliares, nas bobinas de desligamentos e/ou mecanismos dos disjuntores. Por este motivo é necessário duplicar os terminais de proteção. Porém, segundo os autores Caldas e Carvalho, 2003, a filosofia de se aplicar proteções de

retaguarda é adotada para alguns sistemas, como por exemplo, em proteções de linhas de transmissão

Cada proteção primária e de retaguarda, é efetuada cobrindo uma área de linhas ou equipamentos do sistema. A filosofia de aplicação dos relés de proteção é dividir o sistema em zonas, conforme figura 4-13, podendo ser protegidas adequadamente com o mínimo de intervenção do sistema.

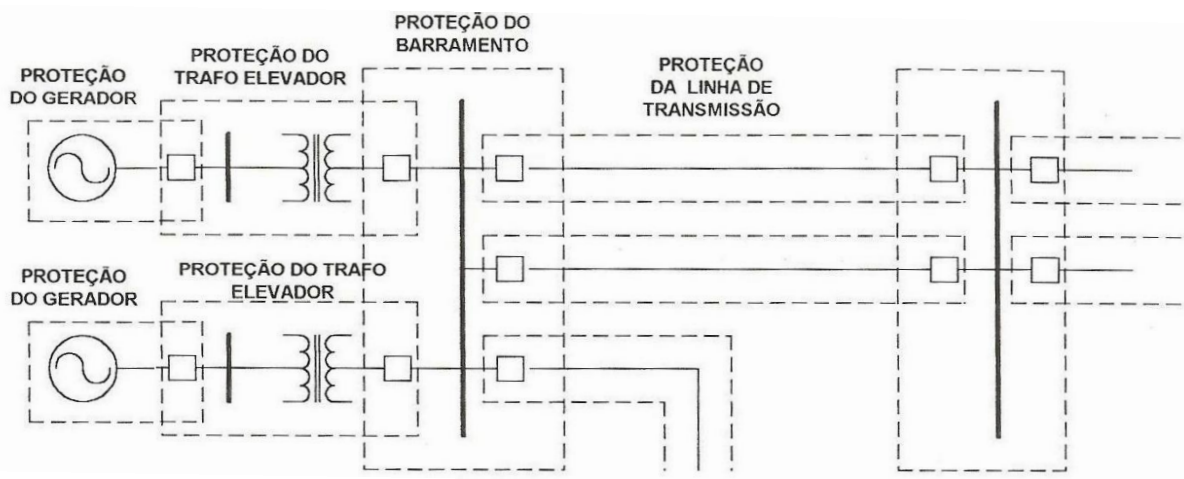


Figura 4-13: Zonas de divisão Primária

Fonte: CALDAS & CARVALHO, (2003, p.29)

Nota-se que o sistema é separado por zonas e estas se sobrepõem. Um defeito dentro de uma determinada zona causará a abertura de todos os disjuntores que estão dentro desta zona. Para disjuntores onde há duas zonas atuando ao mesmo tempo, haverá desligamentos de disjuntores desnecessariamente. Contudo é necessário termos zonas se sobrepondo, pois se ocorrer uma falha na região que não é abrangido por uma zona, poderá não atuar a proteção e ocasionar danos maiores no sistema.

Para haver comunicação entre os relés e os equipamentos, é necessário ter o cabeamento entre os equipamentos do nível de processo que estão no pátio e a casa de comando/controle. Este cabeamento pode ser feito via fibra óptica (FO), criando, assim, uma grande facilidade e economia, visto que existem custos altos somando projeto, material e mão de obra. O uso da FO nos Sistemas de Potência é necessário devido às:

- Distâncias elevadas entre equipamentos: os meios de comunicação a cabos metálicos não podem ser aplicados, pois os mesmos se limitam ao comprimento do circuito, sendo necessária a interligação via FO.

- Isolação elétrica: O material dielétrico que compõe a fibra óptica oferece uma excelente isolamento elétrica entre os transceptores ou estações interligadas. Ao contrário dos suportes metálicos, as FO's não tem problemas com o aterramento e as interfaces dos transceptores.

- São insusceptíveis a interferências eletromagnéticas;

- Velocidade de tráfego: A velocidade de tráfego de dados da FO é muito mais elevada em comparação aos meios metálicos.

Diante das vantagens da FO, utiliza-se no setor elétrico uma série de protocolos, dentre eles a Norma IEC61850. Esta norma possibilitou o desenvolvimento de novos conceitos e filosofias de aplicação no ambiente de sistemas de automação de subestações. Os recursos de comunicação atualmente disponíveis oferecem novas soluções na integração de sistemas de proteção, controle, medição, monitoramento e supervisão de sistemas elétricos. O conceito de comunicação horizontal, existente entre os relés digitais (IED – Intelligent Electronic Device), possibilita-os trocar informações, garantindo a funcionalidade específica de cada um.

Neste contexto, a comunicação horizontal prevista na Norma IEC61850 é realizada através do protocolo denominado de mensagens GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event). Estes tipos de mensagens se dão através do tráfego de informações do tipo multicast, ou seja, informações são lançadas na camada mais inferior do modelo de Interconexão de Sistemas Abertos (OSI) e atingem de maneira rápida todos os componentes conectados à esta rede. Apenas os dispositivos interessados na mensagem que trafega irão absorver a informação relevante que lhe é necessária.

#### **4.4.1 Relés de Proteção**

Segundo a ABNT, relé é um dispositivo por meio do qual um equipamento elétrico é operado quando se produzem variações nas condições deste equipamento (ou no circuito ou equipamento a ele associado).

Os relés podem ser classificados quanto:

- Grandezas físicas de atuação: mecânicas, térmicas, óticas, etc.;

- À natureza da grandeza a que respondem: corrente, tensão, potência, frequência, pressão, temperatura, etc.;
- Ao Tipo construtivo: eletromecânicos (indução), mecânicos, eletrônicos, estáticos, etc.;
- À função: sobre e subcorrente, tensão, potência, direcional de corrente ou potência, diferencial, distância.
- Ao tipo de fonte para atuação do elemento de controle: corrente alternada (CA) ou corrente contínua (CC);
- Ao grau de importância: principal ou alternada, primária ou secundária;
- À posição dos contatos quando desenergizados: normalmente aberto (NA) ou normalmente fechado (NF);
- À aplicação: máquinas rotativas (geradores e motores), máquinas estáticas (transformadores, autotransformadores, capacitores e reatores) e LT's;
- À temporização: instantâneo, temporizado em tempo definido, tempo inverso, tempo muito inverso ou tempo extremamente inverso.
- Sua Classificação perante a tabela ANSI<sup>6</sup>:
  - 02 – Relé de partida ou fechamento temporizado (time-delay starting, or closing-relay);
  - 03 – Relé de verificação ou interbloqueio (checking ou interlocking relay);
  - 21 – Relé de distância (distance relay);**
  - 27 – Relé de subtenção (under voltage relay);
  - 30 – Relé anunciador (annunciator relay);
  - 32 – Relé direcional de potência (directional power device);
  - 37 – Relé de subcorrente ou subpotência (undercurrent or under power relay);
  - 40 – Relé de campo (field relay);
  - 44 – Relé de sequência de partida das unidades (unit sequence starting relay);
  - 46 – Relé de reversão ou balanceamento corrente de fase (reverse phase or phase-balance, current relay);

---

<sup>6</sup> Tabela ANSI (American National Standards Institute), ou seja, Instituto Nacional Americano de Padrões, classificou os relés segundo as suas funções particulares.

---

- 47 – Relé de seqüência de fase de tensão (phase-sequence voltage relay);
  - 48 – Relé de seqüência incompleta (uncomplete sequence relay);
  - 49 – Relé térmico para máquina ou transformador (machine, or transformer, thermal relay);
  - 50 – Relé de sobrecorrente instantâneo (instantaneous over current relay);
  - 51 – Relé de sobrecorrente-tempo CA (a-c time over current relay);
  - 53 – Relé para excitatriz ou gerador CC (exciter or d-c generator relay);
  - 55 – Relé de fator de potência (power factor relay);
  - 56 – Relé de aplicação de campo (field application relay);
  - 58 – Relé de falha de retificação (power rectifier misfire relay);
  - 59 – Relé de sobretensão (overvoltage relay);**
  - 60 – Relé de balanço de tensão (voltage balance relay);**
  - 61 – Relé de balanço de corrente (current balance relay);
  - 62 – Relé de interrupção ou abertura temporizada (time-delay stopping or opening, relay);
  - 63 – Relé de pressão de nível ou de fluxo, de líquido ou gás (liquid or gaz presure, level, or flow relay);
  - 64 – Relé de proteção de terra (ground protective relay);
  - 67 – Relé direcional de sobrecorrente CA (a-c directional overcurrent delay);**
  - 68 – Relé de bloqueio (blocking relay) ou de oscilação do sistema;**
  - 74 – Relé de alarme (alarm relay);
  - 76 – Relé de sobrecorrente CC (d-c overcurrent relay);
  - 78 – Relé de medição de ângulo de fase, ou de proteção contra falta de sincronismo (phase angle measuring or out-of-step protective relay);
  - 79 – Relé de religamento CA (a-c reclosing relay);**
  - 81 – Relé de religamneto (frequency relay);
  - 82 – Relé de religamento CC (d-c reclosing relay);
  - 83 – Relé de seleção de controle ou de transferência automática (automatic selective control, or transfer relay);
  - 85 – Relé receptor de onda portadora ou fio-piloto (carrier, or pilot-wire, receiver relay);
-

86 – Relé de bloqueio (blocking-out relay);

**87 – Relé de proteção diferencial (differential protective relay);**

91 – Relé direcional de tensão (voltage directional relay);

92 – Relé direcional de tensão e potência (voltage and power directional relay);

94 – Relé de desligamento, ou de disparo livre (tripping relay).

Grudtner e Medeiros, afirmam que “relé de proteção são um conjunto de relés mais disjuntor e seus elementos auxiliares”. Os relés de proteção são elaborados, para supervisionar as grandezas elétricas durante a operação normal, e devem atuar sempre que houver uma anormalidade no sistema. Em muitos casos, o número de vezes de atuação dos relés de proteção durante os seus testes de comissionamento e manutenção é consideravelmente maior que o número de atuações durante as respostas ou solicitações do sistema.

Para definir qual relé de proteção é mais adequado para um projeto, é necessário procurar as características funcionais da proteção e dar ênfase no que será mais importante para o projeto, e finalmente, escolher o relé de proteção mais adequado. Segundo Caldas e Carvalho, 2003, As características funcionais da proteção são:

- Sensibilidade: o relé deve ser operado com segurança e ser acessível para detecção de pequenos defeitos;
- Seletividade: os relés devem comandar somente o desligamento dos disjuntores necessários para isolar completamente o elemento defeituoso;
- Velocidade: os relés devem ser rápidos para minimizar os efeitos dos defeitos e diminuir os riscos de instabilidade do sistema;
- Confiabilidade: os esquemas e relés de proteção devem assegurar o correto funcionamento dos componentes e a operação em caso de defeitos.
- Segurança: a proteção deve ser estável e atuar somente quando houver algum defeito ou anomalia no sistema;
- Economia: a proteção deve atender os objetivos com o menor custo de instalação, operação e manutenção possíveis.

Os relés de proteção que se encontram no sistema, estão sempre prontos para atuar quando houver alguma falha. No entanto, na verdade, não se deseja que ele atue, pois quando atua é sinal de alguma anomalia no sistema.

#### 4.4.1.1 Relé de Proteção Diferencial

Classificado na tabela ANSI, pelo número 87. É um dispositivo de proteção de equipamentos ou circuitos que necessitam de alta velocidade de operação e de forma seletiva. Seu princípio de operação é baseado na comparação da corrente elétrica que chega no equipamento ou do circuito protegido, ver figura 4-14:

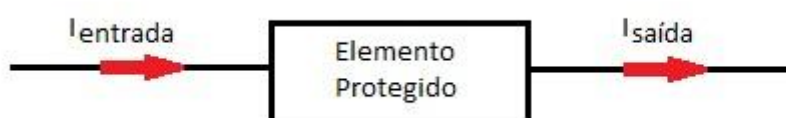


Figura 4-14: Princípio da Proteção diferencial  
Fonte: KINDERMANN, (2006, p.19)

- Proteção de transformadores de potência;
- Proteção de cabos subterrâneos;
- Proteção de cabos subaquáticos;
- Proteção de máquinas síncronas;
- Proteção de barras;
- Proteção de cubículos metálicos;
- Proteção de linhas de transmissão.

De acordo com Kindermann, 2006, diz que a função da proteção fundamenta-se na 1ª Lei de Kirchhoff, equações 4-1 e 4-2 aplicada ao equipamento ou circuito, isto é:

$$I_{entrada} = I_{saida} + I_{relé} \quad \text{Equação 4-1}$$

$$I_{Relé} = I_{entrada} - I_{saida} \quad \text{Equação 4-2}$$

A atuação da comparação da corrente é feita a partir dos TC's, fazendo o dispositivo atuar do seguinte modo:

- Se  $I_{entrada} = I_{saida}$ , a corrente  $I_{relé} = 0$ , e o relé não atua, isto é o elemento protegido não apresenta defeito;

- Se  $I_{entrada} - I_{saída} \leq I_{ajuste\ do\ relé}$ , a proteção não atua porque a diferença de corrente é menor que a corrente de ajuste do relé;

- Se  $I_{entrada} - I_{saída} > I_{ajuste\ do\ relé}$ , a proteção atua porque a diferença de corrente é maior que o ajuste no relé. Neste caso há um defeito no elemento protegido, equipamento ou circuito.

Para efetivar o ajuste do relé é considerado os erros de medição e a variação de carga que ocorre no sistema de potência.

#### 4.4.1.2 Relé de Distância

Os relés de distâncias, designado 21 na tabela ANSI, são geralmente aplicados na proteção das LT's contra faltas entre fases e faltas fase-terra, tanto na função primária quanto na retaguarda. O relé de distância opera medindo o parâmetro de LT até o ponto de curto-circuito ou de carga. A sua filosofia de funcionamento é baseada na impedância, admitância ou reatância vista pelo relé. *“na verdade o relé vê o parâmetro da linha ou sistema e não a distância propriamente dita.”*, (Kindermann, 2005).

##### 4.4.1.2.1 Relés de Impedância

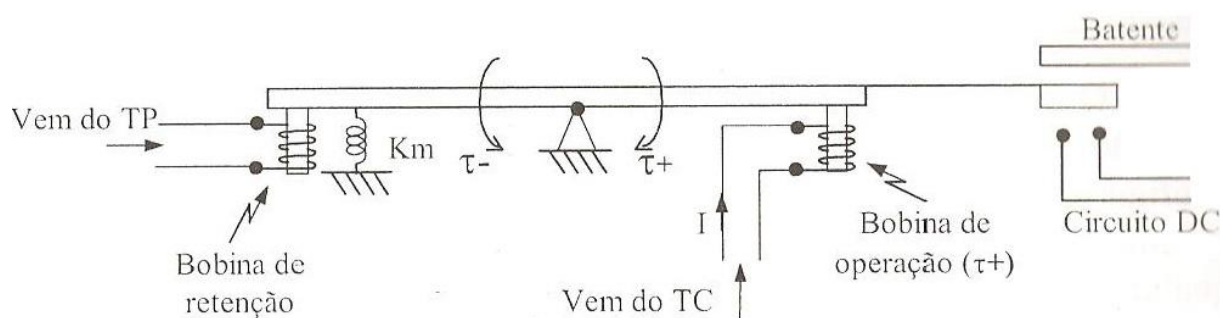


Figura 4-15: Zonas de divisão Primária  
Fonte: KINDERMANN, (2005, p.200)

Seu funcionamento é tipo indução. O torque produzido pela corrente é equilibrado pelo torque produzido pela tensão, conforme se observa na figura 4-15. A tensão, grandeza de restrição, produz torque negativo, sendo contrário ao fechamento do relé. A corrente elétrica, grandeza de operação produz torque positivo, sendo favorável a ação de fechamento do contato do relé. A equação 4-3, define o torque do relé.

$$\tau = k_1.I^2 - k_2.V^2 - k_3 \quad \text{Equação 4-3}$$

Sendo:

$\tau$  = torque de Operação;

$k_1, k_2$  = constantes de projeto;

$k_3$  = torque de restrição da mola;

$I$  e  $V$  = grandezas corrente e tensão, que alimentam a mola;

Sabendo que o ponto de equilíbrio  $\tau=0$ , e que  $Z = V/I$ , chega-se a equação 4-4:

$$\frac{V}{I} = Z = \sqrt{\frac{k_1}{k_2}} = \text{constante} \quad \text{Equação 4-4}$$

#### 4.4.1.2.2 Relés de Admitância

Conhecido como relé MHO, segue a mesma filosofia do relé de impedância, com algumas diferenças no seu funcionamento:

- Corrente elétrica produz o torque de operação;
- Tensão elétrica produz o torque de restrição, conforme equação 4-5;

$$\tau_{\text{motor do relé}} = k_d \cdot E \cdot I \cos(r - \Theta) - k_v E^2 \quad \text{Equação 4-5}$$

Onde:

$R$  = ângulo de máximo torque de relé de admitância;

$E$  = tensão de polarização do relé;

$I$  = corrente efetiva de operação do relé;

$\Theta$  = ângulo de defasagem entre  $E$  e  $I$ .

O relé de admitância é um relé direcional, tendo seletividade garantida, trazendo vantagens no seu uso quando aplicado em sistema em anel.

#### 4.4.1.3 Relé de Sobretensão

Os relés de sobretensão, denominado 59 na tabela ANSI, têm como função a proteção de equipamentos elétricos contra sobretensões a frequência nominal. Estas sobretensões podem ocorrer devido a perdas de carga, abertura monopolares, abertura de fases. Não possuem função de proteção contra sobretensões transitórias ou surtos de tensão.

São programados para executarem as funções de desligamento de um disjuntor e/ou dar alarme quando da atuação do relé. Podem ser instantâneos, ocorrência de sobretensão nas três fases simultaneamente faz o desligamento do equipamento, ou temporizados, ocorrendo sobretensão em uma fase atua a proteção desligando o equipamento.

#### 4.4.1.4 Relé Direcional de Sobrecorrente

Relé direcional de sobrecorrente, classificado como 67 na tabela ANSI. Sua função é identificar o sentido do fluxo de energia que trafega pelo sistema de potência. Kindermann ainda descreve uma característica importante do relé direcional de sobrecorrente, lembrando que em sistema de anel, é necessário um relé direcional de sobrecorrente, atuando quando a corrente tem um sentido pré-estabelecido pelo ONS e em combinação e com a sua referência de polarização.

“Num sistema de energia elétrica em anel, a proteção com relés de sobrecorrente é impraticável, devido a impossibilidade de coordenação. No entanto, a proteção do sistema em anel é possível se o relé de sobrecorrente receber ajuda do relé direcional. [...] O relé direcional, que monitora o relé de sobrecorrente, confere característica radial ao sistema em anel. Ou seja, o sistema em anel se comporta como dois sistemas radiais em sentidos opostos.” (KINDERMANN, 2005, p. 179)

Os princípios operacionais deste relé são baseados em duas estruturas com duas grandezas de atuação:

- Corrente elétrica como grandeza de referência e atuação;
- Tensão como grandeza de referência (polarização) e corrente como grandeza de atuação.

O relé tem dois conjuntos de bobinas em quadratura, alimentadas pela corrente elétrica e tensão de polarização, a partir das bobinas do secundário do TC e TPC. Devida a impedância da LT, já há uma defasagem entre a corrente e a tensão. Esta defasagem será o ponto de referencia para o relé operar ou não diante de um curto-circuito por exemplo.

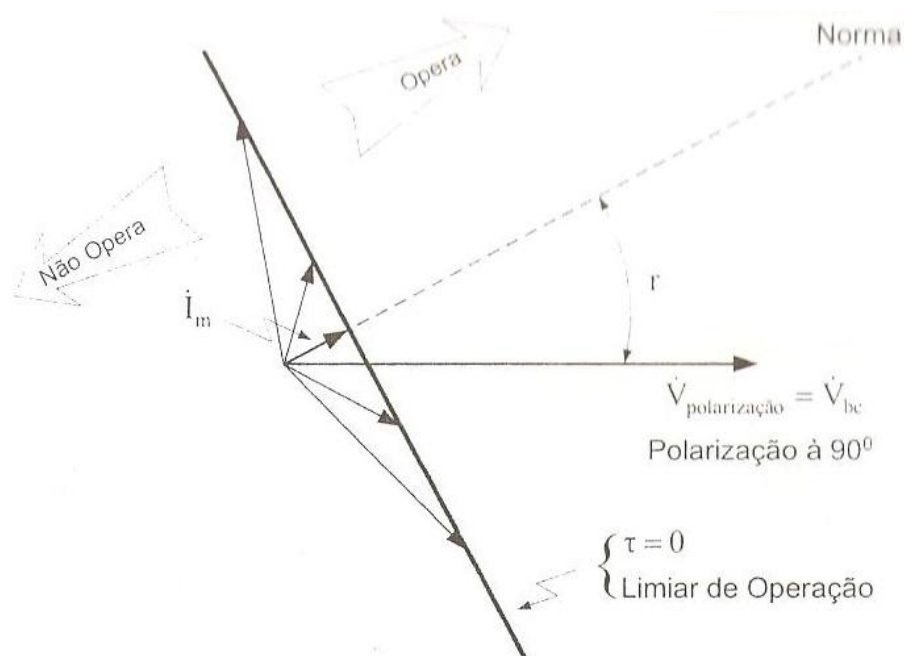


Figura 4-16: Diagrama Fasorial do Limiar de Operação do Relé Direcional  
Fonte: KINDERMANN, (2005, p.184)

A reta do limiar de operação divide o plano em duas partes, conforme mostrado na figura 4-16. Durante um curto-circuito, devido a LT ser fortemente indutiva, há uma grande defasagem da corrente em relação a tensão. O fasor da corrente se posiciona à direita, fazendo o relé atuar a proteção. Se a corrente ficar à esquerda, o relé não atua. *“Portanto, o termo direcional é caracterizado pela posição relativa da onda da corrente em relação a onda da tensão elétrica.”* (KINDERMANN, 2005, 184).

Todavia, a direcionalidade do fluxo de energia elétrica é dada a partir da comparação fasorial das posições das correntes de operação e tensão de polarização. Esta defasagem produzirá a direção do fluxo de energia da corrente de operação ou de curto-circuito.

#### 4.4.1.5 Relé de Religamento

Conhecido pelo número 79 na tabela ANSI, o relé de religamento faz o controle do religamento automático. Quando há um defeito na LT no equipamento protegido, atua a proteção e faz-se necessária fazer uma seqüência de disparos, desligamentos e religamentos, para notificar se o defeito é permanente ou transitório. Pode-se realizar até quatro tentativas de religamento automático do disjuntor antes que o mesmo seja bloqueado.

Nos procedimentos de rede, o ONS determina que as LT's devem ser dotadas de esquema de religamento automático tripolar, deixando o religamento monopolar como passível de aplicação. Segundo o manual de religamento automático que a Eletrosul toma como referência em seus projetos de proteção e controle, define para a sua aplicabilidade:

- Os disjuntores devem apresentar comandos individualizados de abertura e fechamento por pólo (fase);
- A corrente de arco secundário: corrente verificada no ponto de falta, ao final do tempo morto (período quem a linha fica coma fase aberta), quando os disjuntores da linha da fase em falta encontram-se abertos;
- Tensão de restabelecimento: tensão verificada no ponto de falta, no momento posterior a eliminação da corrente, ou seja, quando a corrente de arco secundário se anula;
- Necessidade de avaliação da adequacidade do sistema de proteção das linhas adjacentes, em relação a coordenação das proteções direcionais de terra, pois durante o tempo morto do religamento monopolar, existirá desequilíbrio na rede e aparecimento de correntes de terra.

Os critérios da Eletrosul para aplicação do religamento são:

- Adoção de somente uma tentativa de religamento para sistemas de transmissão 230kV e 525 kV, para não ficar tentando religar sobre defeito;
- Para tempo morto de 1,0s, a tensão de restabelecimento deve ser inferior a 62kV de pico (60 Hz) e a corrente de secundário deve ser menor que 50A de pico (60Hz);
- Havendo violação deste critério, adota-se o seguinte:
  - Para correntes de arco secundário superiores a 80 Arms (60Hz) o religamento não é viável;

- Para correntes de arco secundário entre 60 a 80 Arms (60Hz) o religamento é possível com tempo morto de 1,5s;
- Para correntes de arco secundário entre 50 e 60 Arms (60Hz) o religamento é possível com tempo morto entre 1,0 e 1,5s;
- Para tempo morto de 1,0s, e correntes de arco secundário menos que 50 Arms (60Hz) se tem alta probabilidade de sucesso;
- Para tempo morto de 0,5s a corrente de arco secundário deve ser inferior a 20 Arms (60Hz).

#### 4.4.1.6 Relé de Balanço de tensão

Denominado pelo número 60 na tabela ANSI, é o relé que possui a função de determinar a diferença de tensão entre a entrada e a saída de dois circuitos.

#### 4.4.1.7 Relé de Bloqueio ou de Oscilação do Sistema

Identificado como a função 68, na tabela ANSI, detecta uma oscilação de potência devido a um evento transitório que pode ocorrer no sistema como mudanças de carga e curto-circuito. Com o aparecimento desses eventos o sistema elétrico acaba oscilando e, caso consiga recuperar o equilíbrio, caracteriza-se como uma oscilação síncrona (estável). Nesse tipo de oscilação o relé de distância poderia executar *pick up*, pois a impedância vista pelo relé pode entrar na região de detecção de falta. Para que não ocorram operações indevidas o relé deve detectar a oscilação e emitir um sinal de bloqueio de pick-up, ou seja, bloqueio na partida. Já no caso de perda de sincronismo, oscilação assíncrona, o relé identifica a situação e comanda o trip de modo a retirar circuito do sistema.

#### 4.5 TELEPROTEÇÃO NO SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA

Geralmente as SE's ficam distantes uma das outras, porém, com o sistema interligado, há necessidade de comunicação permanente entre elas. As LT's, além de transmitir potência de uma SE à outra, permitem comunicação à longa distâncias. Ou seja, também é a responsável pelo sistema de telecomunicações, garantindo a comunicação entre as SE's, fornecendo ao sistema os seus "status". Os sistemas de telecomunicações são utilizados para concretizar a teleproteção, a transmissão de dados e a transmissão de voz a partir das LT's de AT.

Tomando como referência KINDERMANN, 2005, "a filosofia da teleproteção é a mesma da proteção utilizada no sistema de energia elétrica, onde deve ser rápido e seletivo, com o adicional que a confiabilidade da tecnologia é fundamental."

"A proteção que utiliza comunicação entre os relés das barras adjacentes de uma linha de transmissão é denominada de teleproteção. O princípio básico da teleproteção é a utilização da proteção diferencial (87) a distância, onde a transmissão do sinal de um relé ao outro é feita pelas vias de comunicação. De mesmo modo a proteção diferencial, trecho supervisionado (selecionado) para proteção é o compreendido entre dois relés." (KINDERMANN, 2005, p. 32)

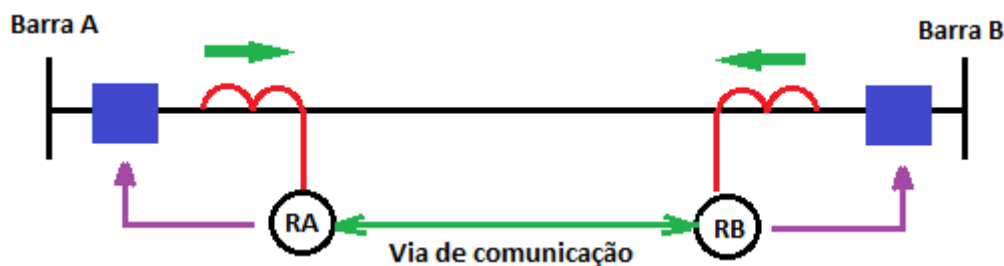


Figura 4-17: Esquema de Teleproteção

Fonte: KINDERMANN, (2006, p. 32) com adaptações nossas

Interpretando o esquema da figura 4-17 em poucas palavras, decifra-se que quando há um defeito na linha, a proteção do relé 87, atua informando ao terminal remoto a localização do defeito. Por fim este terminal joga a informação no meio de comunicação informando ao outro terminal o determinado defeito.

Em uma LT, os relés de proteção em cada extremidade enviam informações sobre o seu status "full time". A rapidez de atuação da proteção e seletividade do sistema é devido aos sensores dos relés que captam a direção do fluxo de corrente percebem alguma anomalia e

já fornecerem, instantaneamente, a informação ao outro terminal. Neste momento percebe-se que não adianta ter bons sensores se o meio de comunicação não for eficiente para levar a informação de um terminal ao outro. Os meios de comunicação mais utilizados são rádio, ondas portadoras de alta tensão (OPLAT) ou fibras óticas.

Segundo KINDERMANN, têm-se dois processos para ação de desligamento do trecho em defeito:

- Comunicação efetiva ou não entre os relés, para o bloqueio de desligamento do disjuntor;
- Comunicação entre os dois relés para o desligamento efetivo dos disjuntores.

A teleproteção é uma solução inteligente que visa aliar a rapidez de atuação de uma proteção à seletividade requerida. Também é necessário trabalhar com redundância no seu sistema, utilizando duas proteções, principal e alternativa, garantindo a seletividade de 100% da linha de transmissão.

#### **4.5.1 Teleproteção a Rádio**

Na transmissão a rádio é usada a faixa de frequência UHF, 300MHz a 3GHz, e Microondas, 3GHz a 30GHz. Possuem a capacidade de transportarem sinais analógicos ou digitais de voz e dados. Em frequências altas, as ondas de rádio, se comportam como ondas de luz, logo sua propagação é em linha reta.

É um sistema com elevado custo de implantação devido à sua estrutura e complexidade. O sistema é composto por torres, antenas, guias de onda e rádio transmissor e receptor, conforme figura 4-18.

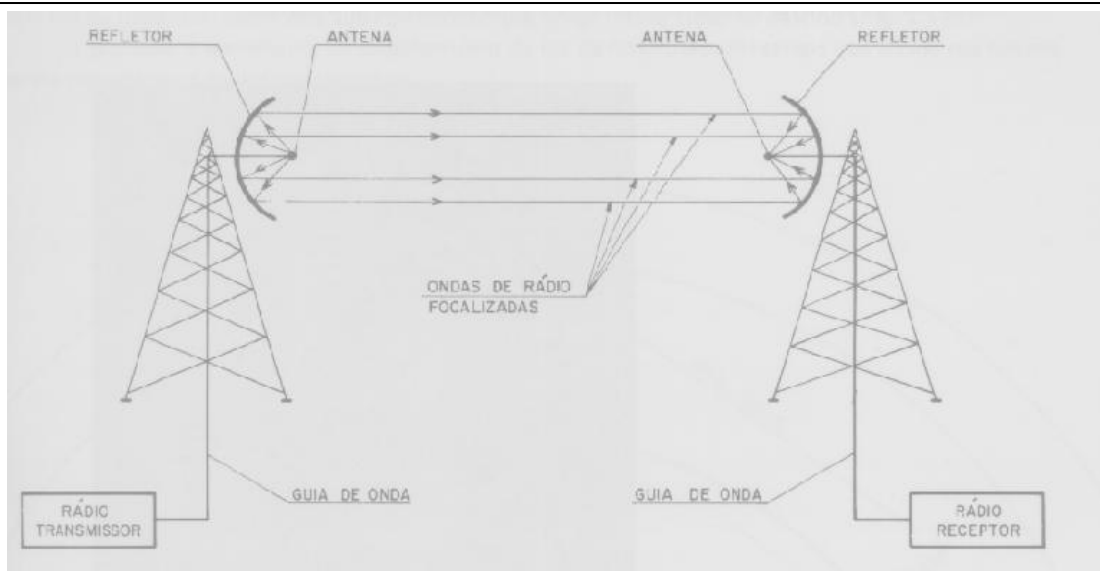


Figura 4-18: Esquema de Teleproteção

Fonte: <http://penta.ufrgs.br/tp951/elemen.html>

A torre em um sistema de microondas tem a função de suporte da antena de microondas, devendo ser projetada para suportar dificuldades meteorológicas, a figura 4-19, mostra uma torre de telecomunicação que não suportou as tais condições. A antena composta por dois elementos, refletor e dipolo eletromagnético, serve para transmitir e/ou receber o sinal.

O guia de onda é na realidade uma LT, sua forma é em tubo quadrangular ou triangular, para ter uma boa reflexão na superfície com o objetivo de diminuir os ruídos eletromagnéticos e interferências existentes entre a antena e o equipamento de rádio. O rádio transmissor e receptor, como o nome já sugere, recebe e transmite os sinais e faz as modulações do sinal.



Figura 4-19: Torre de Telecomunicação em Água Clara após rajadas de vento forte e chuva em 25/10/2011

Fonte: Arquivo pessoal das autoras

Durante o seu percurso, o sinal poderá ter em seu trajeto obstáculos ocasionando diminuição da potência deste sinal. Também a propagação do sinal é afetada pelas atenuações do espaço livre, reflexões e difrações que ocorrem durante o trajeto. Ambos os problemas mencionados mostram as dificuldade na fidelidade deste sistema ser usado na teleproteção. De acordo com Kindermann, 2005, p. 46, “a vantagem desse sistema é que a comunicação independente dos efeitos das correntes de curto-circuito nas LT e das interferências magnéticas geradas na SE.”

#### **4.5.2 Teleproteção com OPLAT**

OPLAT é uma tecnologia de comunicação que pode ser usada a partir da LT's para os sistemas de proteção do sistema. É utilizado em ligações de comunicação entre subestações, que não existam cabos de FO ou onde estes não sejam rentáveis e os sistemas de segurança para a transmissão da sinalização de proteção, em paralelo com as ligações via FO já instaladas.

Kindermann, 2005, explica o sinal é injetado na LT por uma onda portadora Carrier em uma frequência da ordem de 20kHz a 400kHz, diferente da frequência da rede elétrica, 60 HZ. Deve-se observar que cada sinal propaga-se independente uma da outra, tendo somente seus efeitos somados. No outro extremo da LT há um receptor sintonizado na mesma frequência emitida, que capta o sinal da onda portadora e o demodula, extraindo o sinal informado.

O sistema completo da transmissão por onda portadora (Carrier) é composto por bobina de bloqueio de Carrier, conforme figura 4-20, divisor capacitivo de potencial (DCP), equipamento de sintonia, transmissor e receptor Carrier e filtro de onda. Pode ser inserido em uma fase da LT bem como nas três fases, conforme a necessidade de comunicação de cada sistema.

O sistema de teleproteção a partir do OPLAT pode ser prejudicado quando há abertura dos condutores da LT, curto-circuitos, manobras de disjuntores, interferência eletromagnética e eletrostática. Assim, pode ser classificado como um sistema que depende da integridade dos condutores da LT.



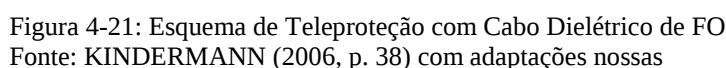
Figura 4-20: Bobina de Bloqueio na Linha de Transmissão 138 kV Biguaçu - Camboriu Morro do Boi na SE Biguaçu – Eletrosul  
Fonte: Arquivo pessoal das autoras

### 4.5.3 Teleproteção com Cabo Dielétrico de FO

Na teleproteção é imprescindível que o meio de comunicação tenha alta confiabilidade e alta velocidade, pois é um componente incorporado ao sistema de proteção. Sendo assim, para manter uma comunicação rápida e confiável, houve necessidade de ter um meio de comunicação que garantisse qualidade, rapidez e confiança nos dados transmitidos.

Com o passar dos anos, surgiram as FO que por fim estão substituindo os fios metálicos utilizados em teleproteção. Conforme exposto por Kindermann, 2005, p. 38, a utilização de FO em esquemas de teleproteção possui as seguintes características:

- Imunes a interferência eletromagnética e eletrostática;
- Rápidas na transmissão do sinal luminoso;
- Precisas nos dados transmitidos;
- Disponíveis de vários canais de comunicação possibilitando as realizações de outras funções, tais como: telefonia, medição, supervisão e controle, transmissão de sinal de áudio e de vídeo, principalmente para ações de segurança do monitoramento do pátio das subestações;
- Móveis de ajustes nos relés (Rede de Engenharia);
- Possíveis de ações de autodiagnose na integridade do sistema de proteção com respeito aos relés e das FO e transmissão de sinal;
- Canais de comunicação dedicado e seguro para as ações de transferência de sinal objetivando o bloqueio ou o disparo do disjuntor remoto;
- Pequenas atenuações de sinal transmitido cobrindo grandes distâncias de comunicação;
- Separadas galvanicamente entre os circuitos elétricos do sistema de proteção com o sistema de FO;
- Grandes larguras de banda;
- Extremamente leves.



“Neste tipo de teleproteção, o sinal elétrico obtido no relé 87 é dirigido ao transdutor fotoelétrico, que o transforma em um sinal luminoso equivalente. O sinal luminoso, que tem uma frequência dentro do espectro do infravermelho, é transmitido pela fibra óptica ao outro terminal, assim se estabelece a comunicação entre os relés dos terminais da linha de transmissão.” (KINDERMANN, 2005, p. 38)

Estela Christina Müller

#### 4.5.4 Teleproteção com CABO OPGW

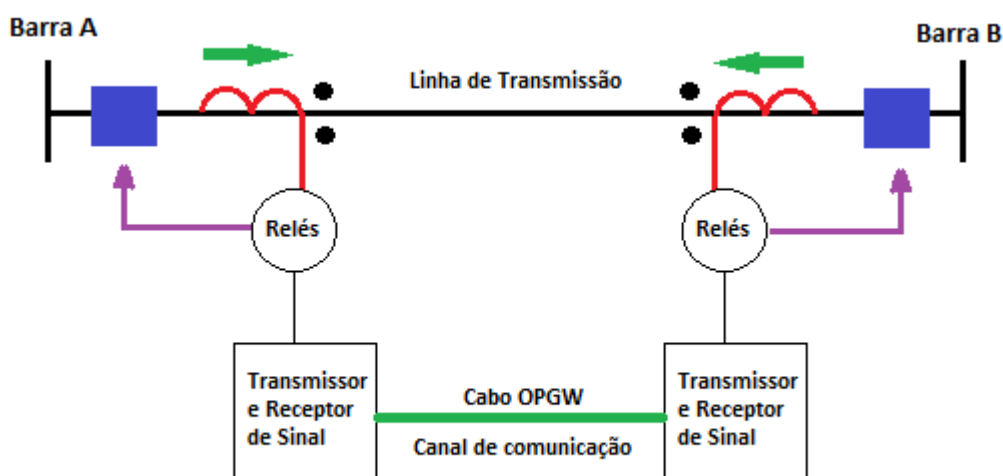


Figura 4-22: Esquema de Teleproteção com Cabo OPGW

Fonte: KINDERMANN, (2006, p. 42)

No esquema de teleproteção da figura 4-22 os cabos OPGW são utilizados como meio de comunicação entre os relés que efetuam a proteção da LT. A transmissão do sinal passa pelas FO contidas no interior do cabo, possibilitando efetuar vários esquemas de proteção. Como as LT's são longas, é inserido durante o seu trajeto repetidoras de sinal para que não haja perda do sinal por atenuação durante o seu percurso. Com a garantia que o sinal irá chegar com qualidade, utiliza-se a transmissão de sinal pela FO para uso da:

- Proteção;
- Comunicação telefônica;
- Transmissão de sinal de TV;
- Comunicação via Internet;
- Comunicação do sistema de supervisão e controle;
- Serviços para companhias telefônicas ou de TV's não pertencentes à empresa.

Isto é, podem se comercializar os canais excedentes para empresas particulares.

Atualmente, o cabo OPGW, está sendo a melhor solução para ser utilizado tanto em LT quanto de distribuição de energia elétrica, para cumprir a função de proteção elétrica e, simultaneamente, prover os canais de comunicação de elevada capacidade. A integração entre

cabo óptico e LT, preserva a função do cabo pára-raios, protege a rede de descargas atmosféricas e são proteção contra curto-circuito. Suas partes metálicas são capazes de suportar correntes extremamente altas.

A imunidade da fibra a campos eletromagnéticos possibilita integrá-la ao núcleo da rede de energia, assegurando assim aos usuários o controle sobre suas ligações vitais na malha de comunicações. Além disso, a capacidade da fibra óptica de transmissão de voz, dados e imagem a altas taxas facilitam a viabilização não somente dos meios convencionais de telecomunicações como também telecontrole, telepesquisa e soluções de automação.

A pesquisa contínua e a construção das diversas versões dos cabos OPGW, visam principalmente evitar riscos de eventos repentinos que possam levar à interrupção de proteção da rede de alta tensão em operação, seu reparo, tempo de queda de energia e consequentemente perda de receitas, a partir de multas estabelecidas pela ANEEL pelo fator de indisponibilidade do sistema.

A teleproteção da LT 230 kV Biguaçu – Desterro é efetuada com cabo OPGW, em todo o seu percurso aéreo. Já na parte submarina foi adicionado um cabo dielétrico de FO, para a teleproteção.

#### **4.5.5 Esquemas de Teleproteção**

As proteções e as comunicações entre qualquer tipo de relés, os mais utilizados, 21, 67, 50 e 51, podem ser efetuadas com o emprego de várias técnicas, denominadas:

- Sistema de Bloqueio por Comparação Direcional (CDB) – Blocking;
- Sistema de Desbloqueio por Comparação Direcional (CDD) – Unblocking;
- Sistema de Transferência Direta de Disparo por Subalcance (DUTT);
- Sistema de Transferência de Disparo com Subalcance Permissível (PUTT);
- Sistema de Transferência de Disparo com Sobrealcance Permissível (POTT).

## 4.5.5.1 Sistema de Bloqueio por Comparação Direcional

Este esquema de teleproteção emprega o sistema de comunicação para enviar um sinal de bloqueio de abertura do disjuntor. Não permitindo a operação de abertura do disjuntor remotamente. “O sinal enviado pelo canal de comunicação será utilizado para impedir a operação de desligamento do disjuntor, mesmo que a proteção local queira abrir o disjuntor”. (KINDERMANN, 2005, p. 47).

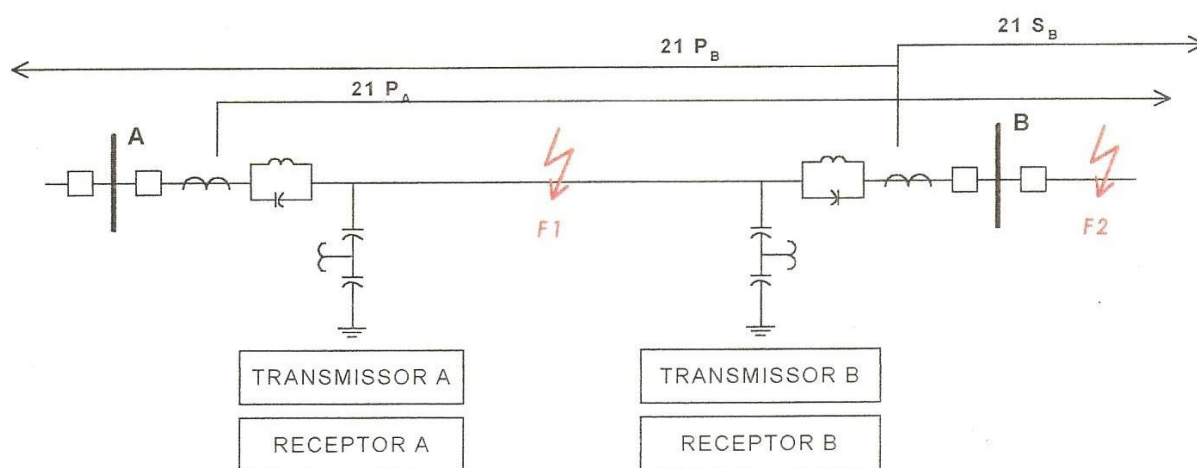


Figura 4-23: Diagrama Unifilar do Sistema de Comparação Direcional por Bloqueio  
Fonte: CALDAS & CARVALHO, (2003, p. 41)

De acordo com a figura 4-23, quando houver alguma ocorrência em algum ponto interno da LT, tipo F1, os relés 21P de ambos terminais irão atuar devidamente, e enviarão o sinal de “abrir o disjuntor” nos terminais A e B. Isto ocorre devido ao relé 21S não ver o sinal de defeito F1, já que este relé vê apenas o defeito para trás, assim nenhum dos terminais A e B, recebeu o sinal e bloqueio dos disjuntores.

Já para um curto externo à LT, ponto F2, o relé 21P<sub>A</sub>, irá perceber o defeito e poderia comandar e operar o desligamento do disjuntor no terminal A. Porém o relé 21S<sub>B</sub>, no terminal B, também percebeu o defeito e também é na sua direção, envia um sinal de bloqueio de abertura de disjuntor no para a proteção do terminal A.

Este processo se faz necessário para que os relés de proteção e os equipamentos de comunicação estejam sempre em sintonia, sejam extremamente rápidos, de alta confiabilidade e alto desempenho.



## 4.5.5.3 Sistema de Transferência Direta de Disparo por Sublance (DUTT)

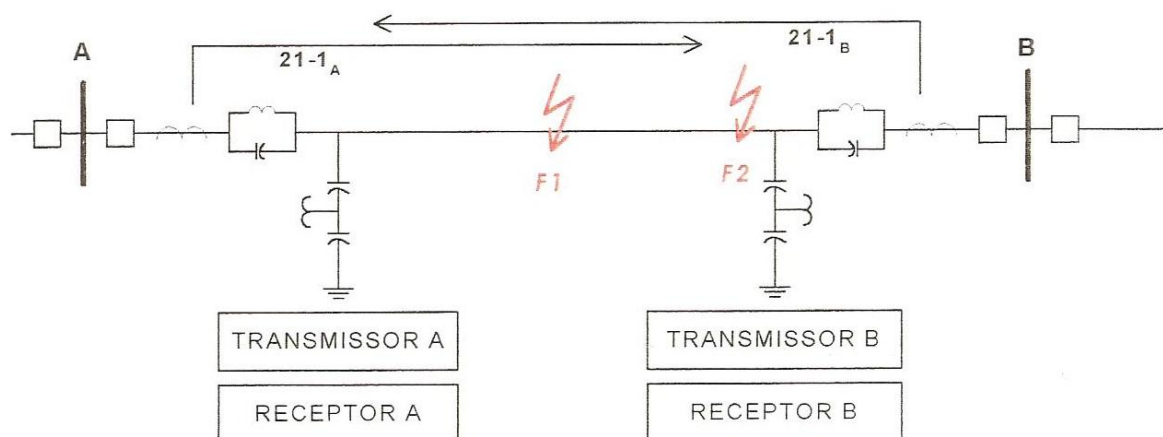


Figura 4-25: Diagrama Unifilar do Sistema de Transferência Direta de Disparo por Sublance  
 Fonte: CALDAS & CARVALHO, (2003, p. 44)

Observando o esquema de teleproteção da figura 4-25, percebe-se que o sinal de comunicação é usado para o desligamento direto do disjuntor. Havendo uma ocorrência interna na LT, um curto em F1, na zona de superposição dos relés 21-1. Estes relés operarão desligando os terminais locais e enviarão sinais de desligamento para os terminais remotos. O sinal de recebimento no terminal remoto permitirá o desligamento direto dos seus disjuntores.

Ocorrendo um defeito no ponto F2, o relé 21-1<sub>B</sub> do terminal B operará desligando o seu disjuntor. Simultaneamente, enviará para o terminal A, um sinal de transferência direta de disparo, ao qual será o responsável pela abertura do disjuntor do terminal A. Isso ocorre, porque o relé 21-1<sub>A</sub> do terminal A, não “enxerga” a falta F2, necessitando de algum auxílio para desligar o seu disjuntor.

## 4.5.5.4 Sistema de Transferência de Disparo com Sublance Permissível (PUTT)

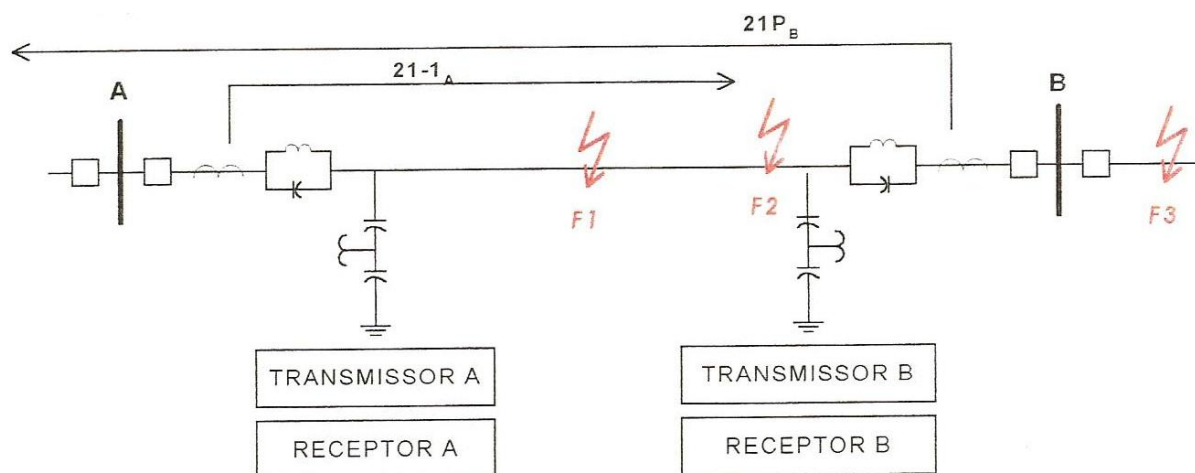


Figura 4-26: Diagrama Unifilar do Sistema de Transferência Direta de Disparo com Sublance Permissível  
 Fonte: CALDAS & CARVALHO, (2003, p. 46)

O diagrama disposto na figura 4-26 difere do esquema DUTT por ter unidade de sublance 21-1 e 21P em cada terminal. É mais confiável que o DUTT, pois exige a atuação dos relés à distancia dos dois extremos.

Analisando o esquema acima, temos três tipos de ocorrências, F1, F2 e F3. Ocorrendo um defeito interno em F1, as unidades de sublance e sobrelance dos terminais A e B, irão atuar, desligando diretamente cada um dos seus disjuntores.

Quando o defeito ocorrer em F2, o relé 21.1<sub>B</sub>, comanda a abertura do disjuntor B e envia o sinal para terminal A, já que o relé 21.1<sub>A</sub>, não consegue vê este defeito. Embora o relé 21.1<sub>A</sub>, não ter operado, o relé de sobrelance 21P<sub>A</sub> operou. Assim a recepção do sinal enviado pelo terminal B mais a operação da unidade 21P<sub>A</sub> do terminal A, faz com que haja abertura do disjuntor no terminal A.

Já para ocorrência externa à LT, como o ponto F3, as unidades 21.1 não operarão, mesmo que alguma unidade de sobrelance tenha operado, não ocorrerá desligamento da linha A-B.

## 4.5.5.5 Sistema de Transferência de Disparo com Sobrealcançe Permissível (POTT)

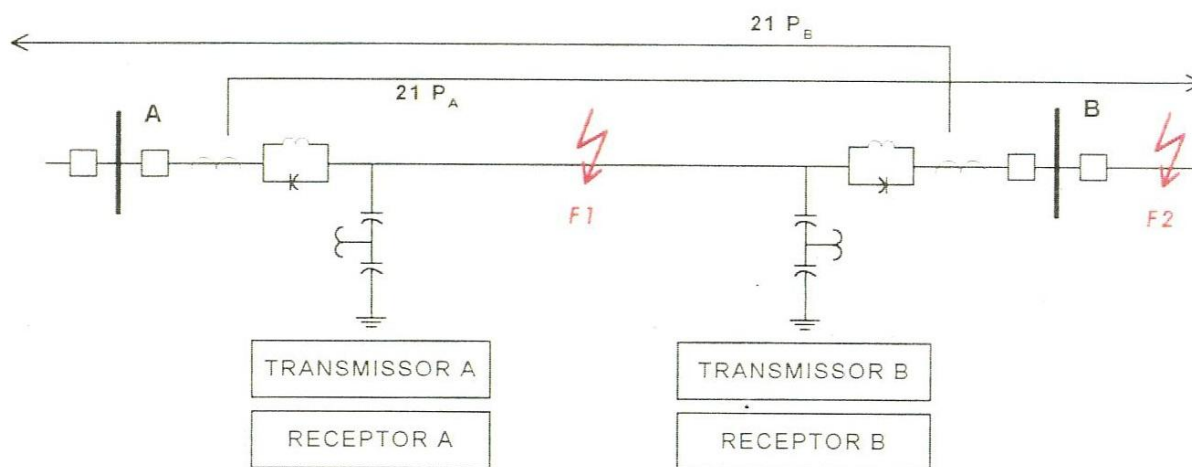


Figura 4-27: Diagrama Unifilar do Sistema de Transferência Direta de Disparo com Sobrealcançe Permissível  
 Fonte: CALDAS & CARVALHO, (2003, p. 48)

No esquema da figura 4-27, as unidades de sobrealcançe 21P devem operar para chavearem os equipamentos de comunicação e para darem permissividade para os desligamentos em cada terminal.

Difere do CDD, pois possui sinal sendo transferido de um terminal para outro, só se ocorrer faltas internas, para liberar o desligamento dos terminais. Enquanto o CDD existe um sinal de bloqueio na linha permanentemente que deve ser chaveado para sinal de desbloqueio, quando ocorrem faltas internas.

Observando o diagrama unifilar deste sistema, exposto na figura 27, percebe-se que quando ocorre uma ocorrência em F1, as unidades de sobrealcançe 21P dos terminais A e B operarão chaveando seus equipamentos de comunicação. A recepção deste sinal de permissividade nos terminais remotos B e A, associada à operação dos relés 21P destes terminais, ocasionará o desligamento dos seus disjuntores.

Já para um defeito em F2, o relé 21P<sub>B</sub> do terminal B não verá o defeito, porém o 21P<sub>A</sub> do terminal A o vê e chaveia a comunicação no terminal liberando trip do terminal B. Entretanto, nenhum desligamento ocorrerá, pois nem todas as condições foram satisfeitas nos dois terminais.

#### 4.6 TELEPROTEÇÃO DA LT 230 KV BIGUAÇU – DESTERRO

Quando se faz o projeto de proteção e teleproteção de uma LT ou SE, é necessário que o mesmo atenda os procedimentos de rede definidos pelo ONS. A proteção da LT deve seguir os procedimentos de rede do Submódulo 2.6 - Requisitos mínimos para os sistemas de proteção e de telecomunicações, no item 6.2 – Sistema de proteção de LT. Diante das várias recomendações destacam-se:

- O sistema de proteção de LT compreende o conjunto de relés, equipamentos e acessórios instalados nos terminais da LT, necessários e suficientes para a detecção e eliminação, de forma seletiva, de todos os tipos de faltas – com ou sem resistência de falta – e de outras condições anormais de operação;

- Deve ser prevista a supervisão dos circuitos de corrente contínua dos relés de proteção, equipamentos de telecomunicação utilizados para teleproteção, religamento automático e sincronismo, de forma a indicar qualquer anormalidade que possa implicar perda da confiabilidade operacional do sistema de proteção;

- Os sistemas de proteção devem ter, em condições normais ou durante perturbações, características de sensibilidade, seletividade, rapidez e confiabilidade operativa adequadas, a fim de que seu desempenho não comprometa a segurança do sistema elétrico;

- Os TC's, nos arranjos de barramento tipo Barra Dupla 4 ou 5 chaves e Barra Principal com Barra de Transferência, devem ser locados fisicamente de modo que quando for utilizado o disjuntor interligador de barras (disjuntor de transferência) esses TC's continuem alimentando suas respectivas proteções;

- O sistema de proteção da LT deve ser composto por dois conjuntos de proteção independentes, do tipo proteção unitária ou restrita e proteção gradativa ou irrestrita;

- Os sistemas de proteção devem ser selecionados de acordo com as características da LT a ser protegida.

- Sistemas de proteção compostos por relés de distância devem ter as seguintes funções:

- Funções de distância (21/21N1) para detecção de faltas entre fases e entre fases e terra, com temporizadores independentes por zona;

- Função de sobrecorrente direcional de neutro (67N/NT), com unidades instantâneas e temporizadas para complementação da proteção de distância para faltas a terra independentes das funções de medição de distância;
- Função para a detecção de faltas que ocorram durante a energização da LT (50 LP – switch onto fault);
- Função para detecção de oscilações de potência e bloqueio das unidades de distância.

- Se a proteção unitária ou restrita for realizada por relés de distância, o esquema de teleproteção deve atender aos seguintes requisitos:

- A seleção da(s) lógica(s) de teleproteção a ser(em) adotada(s) em cada caso deve levar em conta o sistema de telecomunicação utilizado, os efeitos das variações das impedâncias das fontes, o comprimento relativo da LT, acoplamentos magnéticos com outras LT e a existência de compensação série;
- A unidade instantânea da proteção de sobrecorrente direcional de neutro (67N) deve atuar incorporada ao esquema de teleproteção selecionado, sempre que possível utilizando canal de teleproteção independente;
- Em esquemas de teleproteção por sobrealcance devem ser utilizadas lógicas de bloqueio temporário para evitar operação indevida durante a eliminação sequencial de faltas em LT paralelas (transient blocking);
- Os esquemas de teleproteção do tipo permissivo por sobrealcance devem ter lógicas para a devolução de sinal de disparo (echo) e para proteção de terminais com fraca alimentação (weak infeed).

- As proteções unitárias ou restritas devem detectar faltas entre fases e entre fases e terra, para 100% da extensão da LT protegida, sem retardo de tempo intencional.

- As proteções gradativas ou irrestritas devem ser compostas por relés de distância (21/21N), para defeitos entre fases e fase-terra e por relé de sobrecorrente direcional de neutro (67 N).

- Possibilitar efetiva proteção de retaguarda para a linha protegida e para o barramento remoto, mantida a coordenação com a proteção dos componentes adjacentes.

- O tempo total de eliminação de faltas pela proteção unitária ou restrita não deve exceder a 150 ms. Nas linhas de interligação entre sistemas este tempo não deve exceder 100 ms;

- As linhas de interligação entre sistemas devem ter proteção para perda de sincronismo (78);

- Todos os terminais da LT devem ter proteção trifásica para sobretensões (59), com elemento instantâneo e temporizado independentes e faixa de ajustes de 1,1 a 1,6 vezes a tensão nominal. Os elementos instantâneos devem operar apenas para sobretensões que ocorram simultaneamente nas três fases e os elementos temporizados devem operar para sobretensões sustentadas em qualquer uma das três fases.

Para executar a teleproteção, também é necessário seguir os procedimentos de rede descritos no submódulo 2.6, item 8 – Requisitos técnicos dos sistemas de telecomunicações para teleproteção, determinando o seguinte:

- A função teleproteção, que converte os sinais e mensagens das proteções em sinais e mensagens compatíveis com os canais dos sistemas de telecomunicações e vice versa, pode ser executada pelos próprios relés de proteção, pelos equipamentos dos sistemas de telecomunicações ou, ainda, por equipamentos dedicados, denominados equipamentos de teleproteção.

- Os equipamentos de teleproteção devem atender às normas de compatibilidade eletromagnética aplicáveis, nos graus de severidade adequados para utilização em instalações de transmissão de sistemas elétricos de potência.

- Funções de teleproteção integradas em equipamentos de telecomunicação devem ter interfaces dedicadas, independentes e os equipamentos que têm tais funções integradas devem ser adequados para uso em instalações de transmissão de sistemas elétricos de potência.

- Os canais para teleproteção devem:

- Ser adequados ao esquema de teleproteção selecionado ou à quantidade de grandezas ou informações a serem transferidas, no que concerne a número de comandos, largura de banda, taxa de transmissão, tempo de propagação, simetria e variação de tempo de propagação e integridade das informações;

- Manter a confiabilidade e segurança de operação em situações de baixa relação sinal/ruído (canal analógico) ou erro na taxa de transmissão (BER) acima do especificado.
- Os equipamentos de teleproteção devem:
- Ter facilidades para a simulação do funcionamento dos esquemas de teleproteção, ponta a ponta, com o bloqueio simultâneo da saída de comando para a proteção, independente do meio de comunicação utilizado, para que seja possível realizar verificações dos enlaces sem ser necessário desligar a LT;
- Ter chaves de testes para permitir realizar intervenção nos equipamentos de proteção e de telecomunicações sem ser necessário desligar a LT.

- Se o equipamento de teleproteção for instalado em edificação distinta dos equipamentos de telecomunicações, independente da distância envolvida, a interligação entre ambos deve ser efetuada de forma a não comprometer a confiabilidade e segurança da teleproteção.

- Os canais para teleproteção devem ser, preferencialmente, dedicados, específicos para proteção e não compartilhados com outras aplicações. Quando for justificável a utilização de compartilhamento, o atendimento à aplicação de proteção deve ser prioritário.

- Os esquemas de teleproteção e de transferência de disparo são obrigatórios apenas para a proteção principal.

Satisfazendo os procedimentos listados, o projetista poderá construir o diagrama funcional e unifilar do sistema de proteção da SE ou LT que está projetando. Neste caso, é apresentado o diagrama funcional e unifilar da LT Biguaçu visto da SE Desterro, figura 4-28.

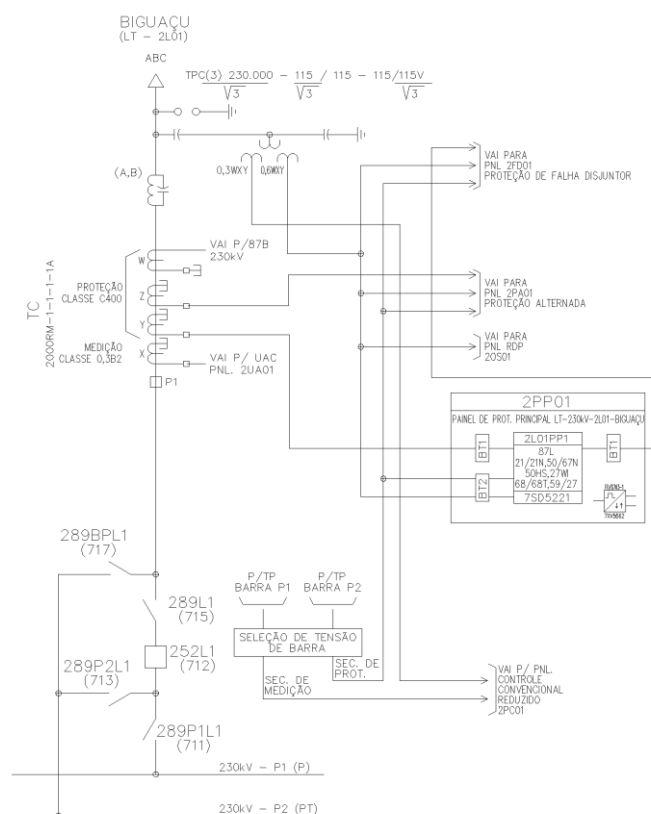


Figura 4-28: Diagrama Funcional e Unifilar do Pannel de Proteção Principal – SE Desterro

Fonte: Arquivos Eletrosul

De forma sucinta, o diagrama acima mostra que o painel de proteção principal, denominado e 2PP01, pertencente a LT 230kV Biguaçu, nomeada de 2L01, para efetivação de identificação para engenharia, manutenção e operação.

Observando-se o diagrama funcional e unifilar exposto acima, nota-se que no painel 2PP01, possui duas entradas, sendo uma a tensão e a outra a corrente. A medição de tensão é obtida a partir de um dos enrolamentos do TPC com relação de tensão 1:2000, e a corrente é através de um dos enrolamentos do TC, classe de proteção C400 e classe de medição 0,3%.

As medições são processadas pelo relé multifuncional de quatro saídas. Duas saídas de informações com as medições vão para o painel de proteção de Falha de Disjuntor, 2FD01. Outra saída de informações com as medições vai para o painel de proteção alternada, 2PA01, utilizada como redundância do sistema. Por fim, a última vai para seleção de proteção, pertencente à seleção de barra, barra principal e principal – transferência.

No diagrama também podemos perceber que há dois canais de comunicação na LT Biguaçu, nas fase A e B, da SE Desterro. O mesmo diagrama funcional e unifilar são

elaborados para a SE Biguaçu. A diferença será o sentido das informações que estão chegando e saindo na SE e em algumas nomenclaturas para diferenciação das extremidades da LT.

Os esquemas de proteção usados em LT's usam canais de comunicação para receber e enviar dados, em conjunto com os relés de proteção à distância, ou sobrecorrente direcional, os dos terminais linhas se comunicam informando o seu estado. Este processo é denominado de teleproteção, ou proteção primária. O objetivo da teleproteção é ter 100% da LT protegida e pronta para atuar a qualquer momento. O esquema de teleproteção adotado pela Eletrosul é um conjunto de esquemas CDD, POTT e PUTT deixando a proteção mais confiável, caso houver alguma ocorrência no sistema.

#### 4.6.1 Relé Multifuncional 7SD52



Figura 4-29: Relé Diferencial 87 da LT 230 kV Biguaçu – Desterro

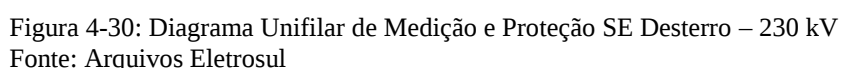
Fonte: Arquivo pessoal das autoras

Neste item, o objeto de pesquisa é desmistificar a lógica do relé multifuncional, modelo 7SD52, fabricante Siemens, apresentado na figura 4-29, explicando de forma simples e clara como funciona a proteção da LT 230 kV Biguaçu Desterro.

O relé multifuncional contém microprocessador em seu sistema, proporcionando, um processamento totalmente numérico de todas as funções do dispositivo, desde a aquisição dos valores medidos, tensão e corrente, até a saída de comandos para os disjuntores. Além dos processamentos de sinais medidos, o microprocessador executa a proteção real e as funções de controle como:

- Filtrar e condicionar os sinais medidos;
- Monitorar as condições de captação para as funções de proteção individual;
- Consultar valores-limites e sequências de tempo;
- Checar o trip e as decisões de comando fechar;
- Armazenar mensagens de falhas de dados para fins de análise de falhas;
- Administrar o sistema operacional e suas funções, como armazenamento de dados a tempo real, comunicação e interfaces;
- Fornecer informações ao amplificador de saída;
- Comando de trip de 15ms;
- Proteção de comparação de corrente;
- Conexão direta a rede de comunicação;
- Medição de corrente e de tensão do lado remoto e do lado local.

O diagrama de funções contidos no relé 7SD52 segue na figura abaixo:



Makely R. S. Dalprá

Não basta só saber se há diferença entre as correntes, é preciso saber o local do defeito que ocasionou esta diferença de corrente. Para isto utiliza-se o *Relé de Distância*, 21, pois opera medindo o parâmetro de LT até o ponto de curto-circuito ou de carga. A função 21 neste caso é de retaguarda e temporizada, não necessitando de um canal de teleproteção. Caso falhe a proteção 87L, a função 21 irá perceber o defeito e atuará sem precisar de um canal de teleproteção. Diante do exposto no item 4.4.1.2, o relé 21 percebe um valor constante de impedância  $Z$  em condições de carga nominal através da tensão e corrente e seus respectivos ângulos. Ao acontecer um defeito na LT, a impedância  $Z$  se altera e o relé percebe esta alteração, fazendo atuar a proteção. Todo o esquema de teleproteção desta função é executada pelo esquema POTT, permitindo a proteção da LT 230 kV Biguaçu-Desterro ser escalonada por zonas, sem canal permissivo de teleproteção, ou seja, temporizada. Se a função principal de proteção fosse 21, seria preciso um canal de teleproteção, porque um defeito na linha precisa ser enxergada e confirmada pelos dois relés instalados em cada ponta da linha.

Nota-se no diagrama que tem-se duas sequências, 21-1/21N1 e 21-2/21N2. Interpretando estas terminologias e tendo como base a teoria do item 4.4.1.2, temos que a proteção da LT é escalonada, ou seja, é dividida em zonas Z1, Z2 e a Z3, zona reversa. A Z1 é ajustada em 80% da impedância da linha. A Z2 é ajustada em 120% e a reversa é o inverso da Z1, logo é 20% de distância.

As SE's Biguaçu e Desterro enxergam em Z1. Assim, para defeitos na LT que ocorrem na intersecção das zonas Z1 de cada SE, as duas proteções atuam fazendo o trip direto, ocorrendo a abertura do disjuntor nas extremidades da LT. Caso ocorra um defeito dentro da LT, porém a uma distância maior que a 80%, a proteção verá em primeira zona, Z3, a que está a 20% do defeito e a outra verá em Z2, necessitando de um canal de teleproteção vinda da ponta remota para ter certeza que o defeito é dentro da LT. Ao receber o canal a proteção atua, dando o trip sem aguardar o tempo de atuação da Z2. Se o defeito for a 120% da LT, a falta não será interna, assim a proteção enxerga a zona 2 e a outra em zona Z3, zona reversa a 20%. Neste caso não ocorre a atuação da proteção porque a zona reversa percebeu que a falta não foi interna na linha, então, não será enviado sinal para o outro terminal. A zona 2, percebe a falta, mas também não atua porque não recebe sinal da zona reversa, que entendeu que o defeito era externo a LT.

Os relés 21N1 e 21N2 detectam faltas entre fases e entre fases e terra, com temporizadores independentes por zona. Pertencem ao esquema de teleproteção, permitindo à

identificação da fase que ocorreu um defeito à terra. A proteção comandará somente a abertura do pólo do disjuntor correspondente a fase com defeito, abertura monopolar, mantendo a continuidade do suprimento nas outras fases e religando automaticamente a LT após o tempo morto pré-estabelecido.

Os critérios de ajustes que a Eletrosul determinou para a LT 230 kV Biguaçu-Desterro, foram os seguintes:

- Ajuste da zona, Z1: Ajustar em 80% da impedância de sequência positiva da linha, para as unidades MHO de fase, e 80% da reatância de sequência positiva da linha, para o alcance reativo da proteção de distância quadrilateral de terra. A temporização é de 0,0ms.

- Ajuste da zona de sobrealcance do esquema POTT 21/21NP – zona Z2 de partida do esquema, Z2: Ajustar o alcance em 130% da impedância da linha. A temporização é de 0,0s. A atuação da zona de sobrealcance do esquema POTT 21P/21NP promove transmissão de canal A. A recepção de canal A, associada à atuação da zona de sobrealcance do esquema POTT 21P/21NP, promove disparo.

- Ajuste da zona Z2 temporizada: Ajustar o alcance em 120% da impedância da linha, desde que não exceda 50% da linha adjacente mais curta. A temporização é de 0,4s. há casos em este tempo pode ser maior, isto vai depender da coordenação.

- Ajuste da zona de bloqueio do esquema POTT – Zona 3 reversa: A zona de bloqueio do esquema POTT é utilizada para bloquear o envio de sinal permissivo, pela detecção de falta reversa. Para que ocorra o bloqueio do esquema POTT para faltas reversas, o ajuste desta zona deve ser maior que o alcance da zona de sobrealcance do esquema POTT do terminal remoto. Adotar o dobro do sobrealcance reativo da zona de sobrealcance do esquema POTT do terminal remoto. A temporização é de 0,0ms.

Paralelamente com a atuação da proteção principal, está o *Relé de Sobrecorrente Direcional de Neutro*, 67N, que identifica o sentido do fluxo de energia que trafega pelo sistema de potência. Este relé envia a informação do sentido do fluxo para o canal de teleproteção POTT. Com unidades instantâneas e temporizadas, complementa a proteção de distância para faltas à terra independente das funções de medição de distância.

Em sequência vem à função SOTF, que detecta faltas que possam ocorrer durante a energização da LT. É um contato para acionamento local no próprio painel, e possui o seu comando fechado. Esta função é recomendada pela ONS nos procedimentos de rede.

Após o SOTF vem o *Relé de Sobretensão*, denominado 59L (linha) e 59H (barra), sua função é transmitir dados do TC de linha e de barra para o relé da outra extremidade da LT, através do canal 1 TX, fornecendo dados sobre o seu estado atual. A partir do seu bloqueio é possível executar a lógica de manobra, colocar ou retirar de operação um disjuntor.

O *canal C* é o canal da teleproteção, cuja responsabilidade é a comunicação entre os terminais da linha. Este canal está ligado o *Relé e Bloqueio*, conhecido como 86LP, como o nome já condiz ele bloqueia o religamento do disjuntor dos terminais.

Os *Relés de Oscilação do Sistema*, designado 68, possui a função de detectar condições de oscilações de potência no sistema ou fuga de sincronismo. Podem comandar o bloqueio da proteção primária e dos religamentos ou desligamentos voluntários dos terminais da linha. Porém a Eletrosul utiliza um oscilógrafo para executar esta função, devido a precisão e a qualidade dos dados recebidos, para a posteriormente fazer a análise de ocorrências. Assim o relé 68, fica inutilizado neste esquema.

Os *Relés de Religamentos*, 25/79, são utilizados como um dos mais rápidos recursos para se restabelecer os sistemas de transmissão, após um desligamento voluntário. Em sistemas de transmissão é comum ter defeitos monofásicos ou por eventos meteorológicos, como raios, chuvas e ventos fortes. Assim, não há necessidade de retardar a recomposição de uma linha com a intervenção de operadores, que é mais lenta em comparação de se ter um dispositivo automático que recompõe a linha em pouco tempo.

No esquema de proteção, utiliza-se duas seleções de religamento, religamento ligado ou desligado e se ligado. Também verifica-se o tipo de religamento se é monopolar ou mono/tripolar. Quando há faltas em uma fase, o religamento será monopolar, pois a linha abrirá somente na fase com defeito e religará apenas a mesma fase. Na opção mono/tripolar, para qualquer defeito em uma fase, ou duas fases, ou duas fases e terra, ou nas três fases, o religamento será no modo tripolar. Destaca-se que o relé realiza apenas uma tentativa de religamento, quando há ocorrências de faltas. No entanto se não efetivar o religamento da linha, o disjuntor será bloqueado.

Quando se aplica o religamento tripolar, há necessidade de verificar o defasamento angular entre as extremidades. Caso as extremidades possuam uma defasagem angular que não varia acentuadamente. Com isso é efetuado o religamento sem a necessidade de verificação do sincronismo. Caso contrário, primeiramente, sincroniza-se a tensão para,

então, efetivar o religamento tripolar. Para verificação do defasamento angular, emprega-se o uso de *Relé de Balanço de tensão*, designado pelo número 60 na tabela ANSI.

O relé multifuncional possui um oscilógrafo, OSC, que registra ciclos de grandezas analógicas em caso de falta, armazenando e lista os eventos em condição de pré-falta, ou seja, variações de tensão e corrente.

Observa-se que o relé está em paralelo com o painel de proteção alternada e o de retaguarda. Caso a proteção principal não atuar, a proteção alternada atuará. Caso este falhe, a proteção de retaguarda atuará, fazendo assim o isolamento do defeito não acarretando maiores danos no sistema.

#### 4.6.2 Características Técnicas

A tabela 4-7, apresenta as características técnicas do relé multifuncional utilizado na LT Biguaçu-Desterro.

Tabela 4-7: Características Técnicas do Relé Multifuncional da LT Biguaçu - Desterro

|                                     | SE Biguaçu | SE Desterro |
|-------------------------------------|------------|-------------|
| <b>Tensão Nominal (V)</b>           | 120        | 120         |
| <b>Frequencia de Operação (Hz)</b>  | 60         | 60          |
| <b>Tecnologia de Fabricação</b>     | Digital    | Digital     |
| <b>Corrente Nominal (A)</b>         | 5          | 5           |
| <b>Tensão Auxiliar CC (V)</b>       | 125        | 125         |
| <b>Nº Operacional Painel</b>        | 2PP11      | 2PP11       |
| <b>Macro Funções do Equipamento</b> | Primário   | Primário    |
| <b>Modelo</b>                       | 7SD52      | 7SD52       |
| <b>Fabricante</b>                   | Siemens    | Siemens     |

Fonte: Elaboração própria das autoras

---

#### 4.7 SISTEMA DIGITAL DE SUPERVISÃO E CONTROLE (SDSC)

O SDSC é parte fundamental de praticamente qualquer sistema de automação de processos. Ele é responsável pela aquisição dos dados obtidos através dos equipamentos elétricos (sensores, relés, disjuntores, etc), e a partir destas informações controlar todo o sistema a ele interligado, conforme ilustrado na figura 4-31.

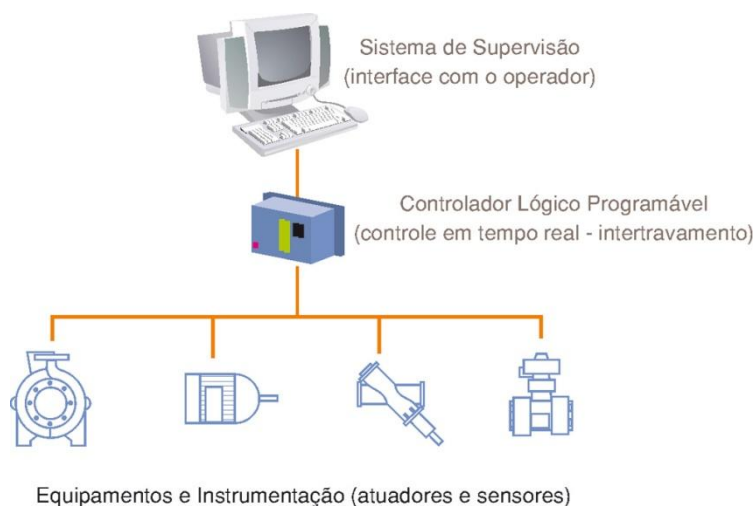


Figura 4-31: Funcionamento básico do SDSC

Fonte: <http://www.mecatronicaatual.com.br/secoes/leitura/381>

As funções do SDSC são as seguintes:

- Monitoramento das variáveis do processo em tempo real (temperatura, pressão, nível, dentre outras);
- Diagnósticos de falhas ou condições indevidas enviando sinais de alarmes e eventos;
- Comparar e adequar os parâmetros do processo;
- Despache de comandos para o sistema.

De forma ativa o SDSC obedece a um comando executado pela operação, por exemplo, a abertura de um disjuntor específico, e em resposta a este comando a supervisão indica que o disjuntor está aberto. De forma passiva, após a identificação de uma falha no circuito. Caso a falha permaneça, o circuito será novamente desligado. Dependendo da filosofia da empresa, este procedimento pode ser realizado até três vezes. Após a terceira tentativa o equipamento permanece desligado até a análise e correção do problema.

#### **4.7.1 Arquitetura do SDSC**

A arquitetura do SDSC demonstra como são dispostos os equipamentos de supervisão e controle, e quais são os meios utilizados para a transmissão dos dados.

Demonstra-se dois tipos de arquitetura: entre Unidades de Aquisição e Controle (UAC) e, entre UAC e equipamentos. Entretanto existe comunicação entre esta arquitetura e os centros regionais, operacionais, ONS e etc..

##### **4.7.1.1 Entre UAC's**

A escolha pela utilização de diversas UAC em um sistema se faz necessário devido a, pelo menos, dois fatores:

- Pontos distantes ao centro de carga: devido à distância elevada cria-se UAC para pontos distantes ao SDSC central, havendo uma comunicação direta entre eles (via FO).
- Setorização de sinais: devido ao número elevado de equipamentos supervisionados, é formado subgrupos de UAC's por área abrangida. Como exemplo, um sistema para Subestação, outro para Tomada d'água, outro para Serviços Auxiliares.

A FO parte de um quadro central passando por todas as UAC's. As UAC's possuem switches redundantes para interligação da rede em anel. Após os switches há um controlador que tem a função de efetuar a alimentação e conversão dos sinais para cada grupo de monitoramento do sistema, seja ele analógico (tensão, corrente, temperatura, etc.) ou digital (estados ou comandos dos equipamentos).

#### 4.7.1.2 Entre UAC e equipamentos

Quando se necessita obter e analisar dados de equipamentos isolados com distâncias elevadas ou ambientes que não permitam a instalação de outros meios de comunicação, como o cabo metálico, devido à interferências eletromagnéticas, utiliza-se a FO para esta finalidade.

No pátio de uma subestação, há interferências eletromagnéticas e concretizar a comunicação entre os equipamentos e com as UAC que se encontram na casa de controle, usa-se a FO. Para isso, é necessário, instalar um conversor analógico/digital (A/D), para a efetivação da medição de tensão ou corrente, que possui em sua saída quatro fibras óticas, cada uma controlada por um núcleo diferente para garantir a redundância do sistema.

#### 4.7.2 Norma IEC-61850

Para haver troca de comunicação entre dois pontos distintos, há necessidade de um protocolo. No sistema elétrico há diferentes tipos de fabricantes e cada um desenvolveu o seu protocolo satisfazendo seu produto. Diante de inúmeros protocolos no mercado e a dificuldade de interoperabilidade entre os equipamentos e sistemas, criou-se a Norma IEC 61850. O objetivo principal foi de criar um protocolo, onde os sistemas ou equipamentos, mesmo com arquiteturas internas diferentes possam comunicar com todo o sistema.

A Norma IEC 61850 padroniza a comunicação entre os IEDs, resultando na interoperabilidade entre os dispositivos do sistema elétrico, havendo trocas de mensagens em alta velocidade. Uma aplicação é a substituição das lógicas de comunicação binária, por meio de fiação rígida, por mensagem GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event). Outro exemplo é a utilização de comunicação com a implantação de TC's e TP's óticos ou com digitalizadores de sinais para o envio do sinal do secundário não mais da forma analógica, mas sim via rede ethernet Sampled Measurement Values (SMV), tendo seus valores amostrados.

A comunicação abrange os três níveis do Sistema de Automação de Subestação (SAS): da Estação, do Bay e do Processo, ocorrendo através de dois barramentos: o barramento da estação e o barramento de processos, tendo como requisitos diferentes para cada tipo de comunicação, conforme figura 4-32. Com a implantação da norma, houveram algumas alterações diante das trocas de informações que existiam anteriormente:

- A comunicação vertical, com destino ao supervisor, passou a ser realizada com o serviço Cliente-Servidor;
- As trocas de status entre os relés, por meio de fio metálico para interligar a comunicação binária, passaram a ter opção de troca de mensagem GOOSE, utilizada em lógicas de intertravamentos;
- O circuito do secundário dos transformadores de instrumentação que chega aos medidores/relés, pode ser substituído pelas mensagens de SMV, com envio de valores digitalizados.

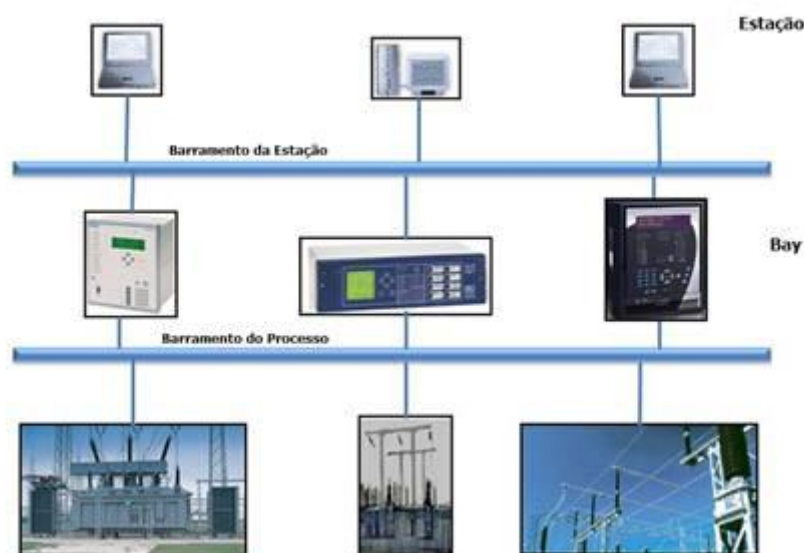


Figura 4-32: Barramentos de comunicação IEC61850 e os níveis do SAS

Fonte: [http://www.osetoreletrico.com.br/web/images/stories/ed63\\_iecfigura\\_01.jpg](http://www.osetoreletrico.com.br/web/images/stories/ed63_iecfigura_01.jpg)

Há muitos estudos que abordam a utilização desta norma. Ainda não se tem dados suficientes para dizer se esta norma é a melhor forma de garantia ou não a comunicação entre o sistema elétrico. Mas há estudos que mostram que o uso de valores amostrados, permite à economia e simplicidade no cabeamento. Pois as informações de *status* e valores de secundários dos transformadores de instrumentação passam a circular em cabos de rede de FO, criando uma facilidade para aplicar redundância de caminho.

## 5 CONCLUSÕES

O fornecimento de energia elétrica é considerado um serviço essencial de utilidade pública devendo ser disponibilizado de forma segura e contínua. Para isto, um bom planejamento energético de uma determinada região deve prever alternativas para garantir o fornecimento de energia elétrica.

A partir da realização deste trabalho, notou-se como é complexa a elaboração de alternativas de abastecimento eletroenergético em uma região metropolitana. Agravando a situação se esta for situada em locais de difícil acesso ou com grandes restrições ambientais, como no caso da Ilha de Santa Catarina.

Pode-se perceber que diversos estudos foram elaborados pelas empresas, Eletrosul e Celesc. Estes demonstraram que para melhorar a distribuição do fluxo, a redução de perdas e eliminar várias sobrecargas no Sistema Eletroenergético do Litoral Catarinense, seria necessário implantar uma nova subestação entre a SE Itajaí e Palhoça, ambas pertencentes ao sistema da Eletrosul, com o intuito de melhorar as condições operacionais do sistema, já que este trecho é responsável por oito subestações destinadas à distribuição pertencentes ao sistema da Celesc.

Os estudos também apontaram que um sistema confiável e seguro deve ser estruturado em forma de anel, possibilitando manobras caso seja necessário, sem prejudicar os consumidores, logo surgiu a idéia de implantar outra rota para completar a alimentação da ilha. Até a implantação dos empreendimentos necessários para o Reforço Eletroenergético à Ilha de Santa Catarina e Litoral Catarinense, a Florianópolis era abastecida apenas pelo sistema de transmissão 138 kV, instalado na Ponte Colombo Salles, e não se encontrava conectada à Rede Básica do SIN. A foto da figura 5-1 mostra a entrada das LT's de 138 kV na SE Coqueiros pertencentes à Celesc, onde é executada a conversão das estruturas aéreas para subterrâneo antes de entrar nas galerias da ponte.



Figura 5-1: Entradas das LT's 138kV na SE Coqueiros

Fonte: Arquivo pessoal Estela e Makely

A construção da LT 230 kV Biguaçu – Desterro foi um empreendimento de muita responsabilidade, envolvendo áreas de planejamento, engenharia e ambiental. Durante a sua fase de planejamento e projeto, exigiram-se muitos estudos dos profissionais da empresa envolvida, Eletrosul, juntamente com dos órgãos ambientais e até mesmo do fabricante do cabo subaquático, para possibilitar uma construção de qualidade e confiabilidade, visto que a distância da LT percorrida em trecho subaquático é a maior da América Latina.

Para garantir tal qualidade e confiabilidade, foi necessária a fabricação de boninas de cabos subaquáticos maiores que o trecho percorrido, para assim evitar emendas submersas na água, gerando assim, pontos frágeis no sistema. Sem contar que a distância que se tinha para instalação de cada fase da linha não era muito grande, em função de impactos ambientais e criação de berbigões, fazendo todo o revestimento de isolamento e blindagem do cabo fosse adaptada para a situação.

A fabricação, transporte e lançamento do cabo no mar passaram por toda uma logística para garantir a integridade física do mesmo, contando com balsa especial para o transporte, rebocador de grande porte, lanchas e equipe de mergulhadores de apoio para auxiliar no lançamento do mesmo.

A elaboração do projeto do arranjo das SE's Desterro e Biguaçu, juntamente com as suas proteções e a proteção definida para a linha, assim como no caso do cabo, passaram

por uma série de planejamentos rigorosos de forma garantir que o trecho do cabo subaquático operasse simultaneamente com os trechos aéreos, garantindo desta forma a coordenação e seletividade do sistema.

Após a implantação do Reforço, a Ilha ficou conectada a Rede Básica do SIN, possuindo maior disponibilidade de energia elétrica a partir da LT 230 kV Biguaçu – Desterro, que foi objeto principal deste estudo, garantindo qualidade, flexibilidade, manutenibilidade, conformidade, segurança e confiabilidade o abastecimento energético da ilha.

A exemplo disso, pode-se citar a ocorrência em 2009, no trecho de circuito duplo da LT Palhoça-Ilha pertencente à Celesc, na via Expressa BR-282. Seu trajeto passa em locais com grande probabilidade de acidentes. Durante a fase de construção deste trecho da LT, não houve a devida desapropriação e cuidados para preservação da faixa de segurança, facilitando assim, o acesso à construções abaixo do seu trecho.

A ocorrência consistiu em um incêndio em um “ferro-velho” que estava instalado no centro de um vão da LT, provocando o rompimento dos cabos de um dos circuitos da LT. Em função da necessidade de emenda do cabo ser no meio do vão, o serviço não poderia ser executado com a outra linha energizada, ou seja, “linha viva”. Então, houve a necessidade de desligamento nas duas linhas do trecho por algumas horas. Fato este que se não houvesse a LT Biguaçu-Desterro, certamente a Ilha ficaria sem abastecimento eletroenergético novamente.



Figura 5-2: Vão Rompido em Função do Incêndio no Ferro Velho  
Fonte: Arquivo pessoal Estela e Makely

A cada ano, a Ilha de Santa Catarina, recebe cerca de 10 mil novos habitantes, uma quantidade considerável de pessoas usufruindo a infraestrutura limitada da cidade. Em função do crescimento de demanda ano a ano, no setor elétrico, planejar envolve a determinação de uma estratégia de expansão do sistema que permita atender à demanda de energia elétrica, de modo a minimizar os custos de expansão e propiciar condições para a operação segura e econômica do sistema elétrico.

Desta forma o ONS elabora estudos de crescimento e necessidade energética para o território nacional, repassando estes estudos para a ANEEL e para as empresas responsáveis pelo abastecimento de energia elétrica em cada região.

Em setembro de 2011, o ONS apresentou o Plano de Ampliações e Reforços na Rede Básica período 2012 a 2014 (PAR 2012-2014), no qual propôs instalações de transmissão para suprir demanda e, se possível, integrar usinas de forma a garantir o pleno funcionamento do mercado de energia elétrica com o objetivo de ampliar a qualidade e confiabilidade da rede.

Neste PAR foi apresentado os problemas identificadas para o abastecimento eletroenergético da Ilha, a partir de dezembro de 2014:

- Área Metropolitana de Florianópolis (sistema de 138 kV): Sobrecarga na LT 138 kV Palhoça – Ilha Centro, na contingência da LT 230 kV Biguaçu – Desterro ou do único transformador 230/138 kV – 150 MVA da SE Desterro, a partir de dezembro de 2014, que se agrava com o crescimento da carga local.

Apesar do ONS ter indicado este problema a partir de 2014, as empresas Eletrosul e Celesc, até então, não elaboraram nenhum estudo mais rigoroso para suprir o problema indicado.

Com base nos conhecimentos obtidos e na vivência profissional, a alternativa que supriria este problema previsto para 2014, seria aumentar a capacidade de transformação da SE Desterro de 150 MVA para 300 MVA ou ainda implantar uma nova linha de transmissão em 230 kV, a fim de fechar a topologia em anel do sistema elétrico na ilha com nível de tensão de 230 kV.

**REFERÊNCIAS**

ANEEL. **Resolução Autorizativa ANEEL 096/2005**. Publicada no diário oficial em 15 de março de 2005.

Berenhause, C. H. et al. **Utilização do protocolo GOOSE da norma IEC61850 na teleproteção no sistema de interligação da PCH Barra do Rio Chapéu – X STPC** – Seminário Técnico de Proteção e Controle. Fortaleza, Outubro, 2010. Disponível em: <[http://www.stpc.com.br/xstpc/documentos/acervo/recife2010/ST-14-Utiliza%C3%A7\\_o%20do%20protocolo%20GOOSE%20da%20norma%20IEC%2061850%20na%20teleprote%C3%A7\\_o%20no%20sistema%20de%20interliga%C3%A7\\_o%20da%20PCH%20Barra.pdf](http://www.stpc.com.br/xstpc/documentos/acervo/recife2010/ST-14-Utiliza%C3%A7_o%20do%20protocolo%20GOOSE%20da%20norma%20IEC%2061850%20na%20teleprote%C3%A7_o%20no%20sistema%20de%20interliga%C3%A7_o%20da%20PCH%20Barra.pdf)> Acesso em 12 de out 2011.

CALDAS & CARVALHO. **Proteção de Sistemas**. Florianópolis, 2003.

CAMARGO, C. Celso de Brasil. **Transmissão de energia elétrica: aspectos fundamentais**, 4 ed. UFSC, Florianópolis, 2009.

**Cabo OPGW**. Disponível em <<http://portuguese.alibaba.com/product-gs-img/opgw-optical-fiber-cable-495137718.html>>. Acesso em 14 nov. 2011.

**Censo 2010**. Disponível em <[http://www.censo2010.ibge.gov.br/resultados\\_do\\_censo2010.php](http://www.censo2010.ibge.gov.br/resultados_do_censo2010.php)> Acesso em 15 jul. 2011.

**Condutores elétricos**. Disponível em <[http://www.demar.eel.usp.br/electronica/aulas/Condutores\\_eletricidade.pdf](http://www.demar.eel.usp.br/electronica/aulas/Condutores_eletricidade.pdf)>. Acesso em 10 set . 2011.

**Documentos, Contratos e Especificações Técnicas de autoria da Celesc.**

**Documentos, Contratos e Especificações Técnicas de autoria da Eletrosul.**

ELETROBRÁS. **Diretrizes para elaboração de orçamentos de subestações**. Rio de Janeiro, Divisão de Engenharia de Transmissão, 2005.

ELETROSUL/CELESC/CCPE/CTET. **Atendimento elétrico ao estado de Santa Catarina** Planalto e Litoral – ELETROSUL/CELESC/CCPE/ CTET/ 031.2003. Florianópolis, 2003.

ELETROSUL/CELESC/CCPE/CTET. **Atendimento elétrico à ilha de Santa Catarina.** ELETROSUL/CELESC/CCPE/CTET/010.2004. Florianópolis, 2004.

ELETROSUL, Eletrobrás. **Estudo de impacto ambiental:** reforço eletroenergético à Ilha de Santa Catarina e Litoral Catarinense. DPM, Florianópolis, 2006.

ELETROSUL, Eletrobrás. **Relatório de impacto ambiental:** reforço eletroenergético à Ilha de Santa Catarina e Litoral Catarinense. DPM, Florianópolis, 2006.

FERNANDES, Rubiapiara, C.. **Sistemas de Potência. Instituto Federal de Santa Catarina.** Florianópolis, 2009.

FURNAS, Eletrobrás. **Construção de Subestações:** montagem eletromecânica. Volumes 1 e 2, DACQ.C, Jacarépagua, 2011.

FURNAS, Eletrobrás. **Construção de subestações:** noções sobre transmissão de energia elétrica. DACQ.C, Jacarépagua, 2011.

FURNAS, Eletrobrás. Transmissão com qualidade e segurança. **Revista Furnas**, Rio de Janeiro, ano XXX, nº 313, outubro, 2004.

GELAIN, Marcus Vinícius. **Análise prática de implementação do ASTRO como ferramenta para treinamento de operadores da subestação controladora Biguaçu da Eletrosul.** 2011. TCC (Graduação em Engenharia Elétrica) Universidade do Sul de Santa Catarina, Pedra Branca, 2011.

GURJÃO, E.C. et al. **Aspectos de Comunicação da Norma IEC 61850.** Disponível em: <[http://www.labplan.ufsc.br/congressos/SBSE/anais/145\\_sbse2006\\_final.pdf](http://www.labplan.ufsc.br/congressos/SBSE/anais/145_sbse2006_final.pdf)>. Acesso em 13 nov. 2011.

**Instrumentos para testes elétricos:** tutorial de teste. Disponível em <[http://www.conprove.com.br/pub/tutoriais/Tutorial\\_Testes\\_Rele\\_SEL\\_300G\\_PSB\\_OoS\\_BLI\\_NDER\\_DUPLO\\_CE6006.pdf](http://www.conprove.com.br/pub/tutoriais/Tutorial_Testes_Rele_SEL_300G_PSB_OoS_BLI_NDER_DUPLO_CE6006.pdf)>. Acesso em 02 nov. 2011.

**Isoladores de vidro.** Disponível em

<[http://i02.i.aliimg.com/img/pb/229/450/259/1280124680695\\_hz-fileserver2\\_1568979.jpg](http://i02.i.aliimg.com/img/pb/229/450/259/1280124680695_hz-fileserver2_1568979.jpg)>.

Acesso em 14 nov 2011.

KINDERMANN, Geraldo. **Proteção de sistemas elétricos de potência.** Edição do autor, v. 1, Florianópolis, 2005.

\_\_\_\_\_. **Proteção de sistemas elétricos de potência.** Edição do autor, v. 2, Florianópolis, 2006.

\_\_\_\_\_. **Proteção de sistemas elétricos de potência.** Edição do autor, v. 3, Florianópolis, 2008.

KUHLKAMP, Dóris. **Treinamento arranjo físico de subestações.** Florianópolis, 2011; Apostila para treinamento arranjo físico de subestação para novos empregados DMO-Eletrosul.

LEE, W. J. et al. **Projeto de linha de transmissão submarina Biguaçu – Desterro em 230 kV – XIII ERIAC – Décimo Tercer Encuentro Regional Ibero Americano de Cigré Puerto Iguazú, Maio, 2009.** Disponível em <<http://www.labplan.ufsc.br/congressos/XIII%20Eriac/B1/B1-01.pdf>>. Acesso em 12 de out 2011.

**Licenciamento Ambiental.** Disponível em <<http://www.ibama.gov.br/licenciamento>>. Acesso em 03 ago. 2011.

MAMEDE, João Filho. **Instalações elétricas industriais.** 8. ed. São Paulo: LTC, 2010.

MEDEIROS, Everton P., GRUDTNER, Ildo W.. **Introdução à proteção de sistemas elétricos.** Florianópolis, 2003; Apostila de proteção de sistemas da Eletrosul.

PIMENTA, Denesmar Gomes. **Análise de sobretensões em linhas de transmissão com cabos Pára-raios isolados.** Disponível em <<http://www.pee.ufrj.br/teses/textocompleto/2006032402.pdf>>. Acesso em 23 ago 2011.

ONS. **Plano de ampliações e reforços na rede básica:** período 2012 a 2014. Setembro, 2011.

ONS. **Procedimentos de rede submódulo 2.2:** verificação da conformidade das novas instalações de transmissão aos requisitos mínimos. 1.1 Rev., 2010.

ONS. **Procedimentos de rede submódulo 2.3:** requisitos mínimos para transformadores e para subestações e seus equipamentos. 1.1 Rev., 2010.

ONS. **Procedimentos de rede submódulo 2.6:** requisitos mínimos para os sistemas de proteção e de telecomunicações. 1.1 Rev. 2010.

PEREIRA Jr. P.S. et al. **IEC 61850-9-2 Avaliação e testes de um barramento de processos.** Disponível em: < <http://www.osetoreletrico.com.br/web/component/content/article/57-artigos-e-materias/611-iec-61850-9-2-avaliacao-e-testes-de-um-barramento-de-processos.html>>. Acesso em 14 out. 2011.

PEREIRA Jr. P.S. et al. **Investigação do funcionamento do barramento de processos (IEC 61850-9-2):** uma abordagem prática – IX SIMPASE – Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos, Versão 1.0, Curitiba, Agosto, 2011. Disponível em < [http://www.conprove.com.br/pub/artigos/2011\\_SIMPASE\\_INVESTIGACAO\\_BARRAMENTO\\_DE\\_PROCESSOS\\_SV\\_IEC\\_61850-9-2LE\\_ARTIGO\\_p.pdf](http://www.conprove.com.br/pub/artigos/2011_SIMPASE_INVESTIGACAO_BARRAMENTO_DE_PROCESSOS_SV_IEC_61850-9-2LE_ARTIGO_p.pdf)>. Acesso em 14 out 2011.

**Power Automation:** Siprotec. Disponível em <<http://www.siemens.com.br/upfiles/1287.pdf>>. Acesso em 20 out. 2011.

**Projetos Ambientais:** batimetria. Disponível em <[http://www.sistemageo.com.br/servicos/projetos\\_ambientais/batimetria](http://www.sistemageo.com.br/servicos/projetos_ambientais/batimetria)>. Acesso em 15 out 2011

**SIPROTEC: Distance Protection.** Manual. 7SA6, V4.61 and higher

**Sistema de Supervisão e Controle:** figura. Disponível em <<http://www.mecatronicaatual.com.br/secoes/leitura/381>>. Acesso em 15 out. 2011.

**Tutorias Transmissão.** Disponível em <[http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialcsub/pagina\\_1.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialcsub/pagina_1.asp)>. Acesso em 24 out 2011.