

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Identificação de perigos na recapitação de Linhas de  
Transmissão

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UFPE  
PARA OBTENÇÃO DE GRAU DE MESTRE  
POR

RÔMULO FERNANDO TEIXEIRA VILELA

Orientador: Professora Dayse Duarte

RECIFE, DEZEMBRO/2001

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

PARECER DA COMISSÃO  
DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE

*RÔMULO FERNANDO TEIXEIRA VILELA*

“Identificação de perigos na recapacitação de Linhas de Transmissão”

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Engenharia de produção

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera o candidato Rômulo Fernando Teixeira Vilela APROVADO.

Recife, 3 de dezembro de 2001.

---

Professor Dayse Cavalcante Lemos Duarte, PhD (UFPE)

---

Professor Fernando Campello, PhD (UFPE)

---

Professor Enrique Andrés Lopes Droguett, PhD (UFBA)

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, acima de tudo.

À Doutora Dayse Duarte, por ter acreditado em mim, por me ter aceito como seu orientando e pela brilhante atuação como orientadora.

A meus pais, que sempre me apóiam nas minhas decisões.

À minha esposa e filhos que consentiram em abrir mão de um pouco da minha atenção e carinho para a realização deste trabalho.

A CHESF, pela visão de futuro em patrocinar o meu desenvolvimento profissional. Em especial aos Engenheiros Antônio Pessoa Neto, José Sarmento Sobrinho e Roberval Luna da Silva

Aos professores do PPGE, por me terem concedido informações tão valiosas.

## RESUMO

Este trabalho tem o objetivo de mostrar a aplicabilidade para a recapacitação de linhas transmissão com a técnica de feixe expandido, da ferramenta de identificação de perigos, que utiliza os diagramas lógicos semigráficos, chamados de, *continuous value network – CVN* e *single value network – SVN*, originariamente desenvolvida para o gerenciamento dos riscos de incêndio em edificações, pelo Professor Robert Fitzgerald da Wochester Polytecnic Institute.

A ferramenta que utiliza as CVN e SVN, é perfeitamente capaz de identificar os perigos na construção para recapacitar linhas de transmissão com a técnica de feixe expandido, além disso, tem uma forma de comunicar, tanto aos envolvidos no processo quanto ao decisor, os perigos e o conjunto de soluções de ações para o gerenciamento dos riscos, tão bem quanto as ferramentas que utilizam diagramas lógicos recomendados internacionalmente que são as árvores de eventos, de modos de falhas e diagramas de causa e consequência.

No capítulo 1, é feita uma apresentação da teoria da recapacitação de linhas de transmissão com a técnica de feixe expandido, originalmente proposta pelo Professor George Alexandrov da Universidade de Leningrado. No capítulo 2, é apresentado o processo em seus detalhes para se construir a recapacitação de um tramo de trabalho da linha de transmissão da Companhia Hidroelétrica do São Francisco - CHESF que vai de Paulo Afonso na Bahia até Milagres no Ceará.(LT PAF/BNO/MLG). No capítulo 3, é apresentada a adaptação da ferramenta para a identificação qualitativa dos perigos na construção para recapacitação de um tramo de trabalho com a técnica de feixe expandido da LT PAF/BNO/MLG. No capítulo 4, mostramos que através da educação do conhecimento a priori de especialistas sobre a ocorrência dos riscos identificados no capítulo 3, damos um tratamento quantitativo e associando os critérios tempo e custo, sugerimos a construção de um sistema de decisão multicritério para que o decisor possa gerenciar os riscos do empreendimento. Concluímos no capítulo 5, que a adaptação da ferramenta usando as CVN/SVN é viável e que gerenciar os riscos do empreendimento de recapacitar a LT PAF/BNO/MLG é importante para a redução de custos e impactos ambientais o que contribui para aumentar a oferta de energia elétrica, auxiliando no desenvolvimento. Apresentamos também sugestões para futuros trabalhos no sentido de se melhorar a educação e de como se combinar as opiniões de vários especialistas.

## **ABSTRACT**

This paper introduces a new method to identify hazards in works to increase the capacity of overhead power lines using the expanded bundle technique. This method use framework, called continuous value network – CVN and single value network – SVN. These frameworks have been created by Prof. Robert Fitzgerald from Wochester Polytechnic Institute.

The frameworks CVN and SVN are a good method to identify the hazards in works to increase the capacity of overhead power lines using the expanded bundle technique. Moreover, their graphic design are as good to communicate all persons involved, including the decisor maker, the hazards and the set of solutions to risk manager, as the internationally recommended methods like fault tree analysis, event tree analysis and cause-consequence analysis .

The chapter 1 introduces the theory to increase the capacity of overhead power lines using the expanded bundle technique, proposed by Prof. George Alexandrov from University of Leningrad. The chapter 2 discusses the process in detail to increase the capacity of transmission line beginning in Paulo Afonso – BA up to Milagres – CE (LT PAF/BNO/MLG) from the Companhia Hidroelétrica do São Francisco. The chapter 3 presents the study to adapter the method to identify the hazards in works to increase the capacity of the LT PAF/BNO/MLG using the expanded bundle technique. In the chapter 4, we use the experts knowledge to know the risks probabilities identified in chapter 3. We suggest the possibility to built a multi criteria decisor set of solutions using quantified risks, costs and spend time, to the decisor maker to manage the risks of the undertaking. Chapter 5 concludes that the frameworks CVN/SVN are viable to identify the hazards and to manager the risks of increase the capacity of overhead lines is important to reduce costs and environmental impacts. This fact contributes to increase the available electrical energy to consumers and help the development. We introduce suggestions to improve the elicitation and how to combine the opinion of experts.

# SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b>	iii
<b>RESUMO</b>	iv
<b><i>ABSTRACT</i></b>	v
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	ix
<b>LISTA DE TABELAS</b>	xii
<b>SIMBOLOGIA</b>	xiii
1. Recapitação de Linhas de Transmissão	1
1.1 Introdução	1
1.2 Aspectos da Teoria de LPNE	5
1.2.1 Equações Básicas	5
1.2.2 Análise de Configurações	10
2. O Processo de Recapitação	23
2.1 Introdução	23
2.2 Definições e Equipamentos Auxiliares	27
2.3 O Processo de Recapitação da LT PAF/BNO/MLG	31
2.3.1 Instalação de Empancaduras	33
2.3.2 Instalação de Estais Provisórios	35
2.3.3 Instalação de Roldanas com Aterramento Deslizante	37
2.3.4 Preparação das Praças de Lançamento	38
2.3.5 Lançamento do Cabo Piloto	40
2.3.6 Lançamento do Cabo Auxiliar Linnet	42
2.3.7 Encabeçamento de uma extremidade do Tramo sem Fechamento de Pulos	43
2.3.8 Nivelamento do Cabo Auxiliar Linnet	44
2.3.9 Instalação de Cadeias Intermediárias e Suplemento de Linnet	46
2.3.10 Aterramento do Tramo de Trabalho	49
2.3.11 Encabeçamento definitivo da outra Extremidade do Tramo com Fechamento de Pulos	51
2.3.12 Instalação Pulos Conexão Linnet-Grosbeak nas Fases Laterais : Operação	53

2.3.13	Instalação de Pulos de Conexão Linnet-Groasbeak na Fase Central	59
2.3.14	Ajuste das Trações para a Correção do Creep	62
2.3.15	Retirada de Aterramento do Tramo de Trabalho e Devolução da Linha	63
2.3.16	Retirada de Empancaduras e Estaiamentos Provisórios	64
3.	Gerenciamento de Riscos	65
3.1	O que é Gerenciamento de Riscos	65
3.2	O entendimento do Problema	67
3.3	Identificação de perigos	69
3.4	Novos Diagramas Lógicos	77
3.5	Relações de dependência entre Eventos	78
3.6	Single Value Networks	83
3.6.1	Lançamento Cabo Piloto	83
3.6.2	Lançamento do Cabo Auxiliar Linnet	85
3.6.3	Encabeçamento de uma Extremidade do Tramo sem Fechamento de Pulos	86
3.6.4	Nivelamento do Cabo Linnet	88
3.6.5	Instalação de Cadeias Intermediárias e Suplemento de Linnet	90
3.6.6	Aterramento do Tramo de Trabalho	92
3.6.7	Encabeçamento Definitivo da Outra Extremidade do Tramo com Fechamento de Pulos	94
3.6.8	Instalação de Pulos de Conexão Linnet-Grosbeak nas Fases Lateral e Central	95
3.6.9	Ajuste das Trações para Correção do Creep	96
3.6.10	Retirada de Aterramento do Tramo de Trabalho e Devolução da Linha	98
3.6.11	Retirada de Empancadura e Estaiamentos Provisórios	99
4.	Aspectos Quantitativos dos diagramas Lógicos	101
4.1	Introdução	101
4.2	Aspectos Quantitativos	103
4.3	Adição de Probabilidades	105
4.4	A Opinião dos Especialistas	108
4.5	Coleta de Dados	114
4.6	Cálculo das SVN : Especialista 1	121
4.6.1	Lançamento Cabo Piloto	121
4.6.2	Lançamento Cabo Auxiliar Linnet	123
4.6.3	Encabeçamento de uma Extremidade do Tramo sem Fechamento de Pulos	124
4.6.4	Nivelamento do Cabo Linnet	126
4.6.5	Instalação de Cadeias Intermediárias e Suplemento de Linnet	128
4.6.6	Aterramento do Tramo de Trabalho	130

4.6.7	Encabeçamento Definitivo da Outra Extremidade do Tramo com Fechamento de Pulos	132
4.6.8	Instalação de Pulos de Conexão Linnet-Grosbeak nas Fases Lateral e Central	133
4.6.9	Ajuste das Trações para Correção do Creep	134
4.6.10	Retirada de Aterramento do Tramo de Trabalho e Devolução da Linha	135
4.6.11	Retirada de Empancadura e Estaiamentos Provisórios	136
4.7	Cálculo das SVN: Especialista 2	140
4.7.1	Lançamento Cabo Piloto	140
4.7.2	Lançamento Cabo Auxiliar Linnet	142
4.7.3	Encabeçamento de uma Extremidade do Tramo sem Fechamento de Pulos	143
4.7.4	Nivelamento do Cabo Linnet	145
4.7.5	Instalação de Cadeias Intermediárias e Suplemento de Linnet	147
4.7.6	Aterramento do Tramo de Trabalho	149
4.7.7	Encabeçamento Definitivo da Outra Extremidade do Tramo com Fechamento de Pulos	151
4.7.8	Instalação de Pulos de Conexão Linnet-Grosbeak nas Fases Lateral e Central	152
4.7.9	Ajuste das Trações para Correção de Creep	153
4.7.10	Retirada de Aterramento do Tramo de Trabalho e Devolução da Linha	154
4.7.11	Retirada de Empancadura e Estaiamentos Provisórios	155
5.	Conclusão	160
5.1	Energia e Desenvolvimento	160
5.2	Recomendações para futuros trabalhos	161
6.	Bibliografia	162



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 –Disposição dos feixes	7
Figura 1.2 – Arranjo de feixes	8
Figura 1.3 - Arranjo Kn2 minimizado	8
Figura 1.4 – Arranjo carga limite	9
Figura 1.5 - Torre padrão 69kV tipo H	11
Figura 1.6 – Configurações alternativas	12
Figura 1.7 – Torre mais promissora	13
Figura 1.8 – Torre estaiada tipo V3	18
Figura 1.9 – Configuração DUFEX	21
Figura 1.10 – Configuração SUPERFESTÃO	22
Figura 2.1 – Diagrama esquemático da Linha	24
Figura 2.2 – Diagrama de estruturas	27
Figura 2.3 – Foto do trabalho de Recapacitação	31
Figura 3.1 – Gerenciamento de Riscos	66
Figura 3.2 – Entendimento do Problema	67
Figura 3.3 – CVN	82
Figura 3.4 – SVN 01	83
Figura 3.5 – SVN 02	84
Figura 3.6 – SVN 03	85
Figura 3.7 – SVN 04	86
Figura 3.8 – SVN 05	87
Figura 3.9 – SVN 06	88
Figura 3.10 – SVN 07	89
Figura 3.11 – SVN 08	90
Figura 3.12 – SVN 09	91
Figura 3.13 – SVN 10	92
Figura 3.14 – SVN 11	93
Figura 3.15 – SVN 12	94
Figura 3.16 – SVN 13	95
Figura 3.17 – SVN 14	96
Figura 3.18 – SVN 15	98

Figura 3.19 – SVN 16	99
Figura 3.20 – SVN 17	
Figura 4.1 – SVN Quantitativa	101
Figura 4.2 – Primeira SVN etapa 5	104
Figura 4.3 – Contínuos Value Network	107
Figura 4.4 – SVN 01	121
Figura 4.5 – SVN 02	122
Figura 4.6 – SVN 03	123
Figura 4.7 – SVN 04	124
Figura 4.8 – SVN 05	125
Figura 4.9 – SVN 06	126
Figura 4.10 – SVN 07	127
Figura 4.11 – SVN 08	128
Figura 4.12 – SVN 09	129
Figura 4.13 – SVN 10	130
Figura 4.14 – SVN 11	131
Figura 4.15– SVN 12	132
Figura 4.16 – SVN 13	133
Figura 4.17 – SVN 14	134
Figura 4.18 – SVN 15	135
Figura 4.19 – SVN 16	136
Figura 4.20 – SVN 17	136
Figura 4.21 – CVN – Especialista 1	139
Figura 4.22 – SVN 01	140
Figura 4.23 – SVN 02	141
Figura 4.24 – SVN 03	142
Figura 4.25 – SVN 04	143
Figura 4.26 – SVN 05	144
Figura 4.27 – SVN 06	145
Figura 4.28 – SVN 07	146
Figura 4.29 – SVN 08	147
Figura 4.30 – SVN 09	148
Figura 4.31 – SVN 10	149
Figura 4.32 – SVN 11	150

Figura 4.33– SVN 12	151
Figura 4.34 – SVN 13	152
Figura 4.35 – SVN 14	153
Figura 4.36 – SVN 15	154
Figura 4.37 – SVN 16	155
Figura 4.38 – SVN 17	155
Figura 4.39 – CVN – Especialista 2	158

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Estudos sobre LPNE	9
Tabela 1.2 – Características dos cabos	10
Tabela 1.3 – Torre tipo 1 – Bitola 397,5	11
Tabela 1.4 - Torre tipo 1 d=0,4m	11
Tabela 1.5 - Análise com cabo 4/0 e d=0,5m	12
Tabela 1.6 - Análise da torre 69kV mais promissora	13
Tabela 1.7 - Ampacidade SIL após recondutoramento	15
Tabela 1.8 - Adição segundo condutor	16
Tabela 1.9 – Análise de custos	16
Tabela 2.1 – Quadro de estruturas PAF/BNO	24
Tabela 2.2 - Quadro de estruturas BNO/MLG	25
Tabela 2.3 – Características dos Cabos	32
Tabela 2.4 – Propriedades dos Cabos	32
Tabela 2.5 – Travessias no trecho : PAF/BNO – Circuito C2	34
Tabela 2.6 – Travessias no trecho : PAF/BNO – Circuito C3	34
Tabela 3.1 – Relações de Dependência	80
Tabela 4.1 – Tabela para Construção da CVN – Especialista 1	138
Tabela 4.2 – Tabela para Construção da CVN – Especialista 2	157

## SIMBOLOGIA

AIChE - American Society of Chemical Engineers  
BFSEM - Building Fire Safety Engineering Method  
CCPS - Center for Chemical Process Safety  
HAZOP - Hazard and Operability Analysis  
OSHA - Occupational Safety and Health Administration  
AQR - Análise Quantitativa dos Riscos  
CHESF – Companhia Hidroelétrica do São Francisco  
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente  
LPNE – Linha de Potência Natural Elevada  
ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S. A.  
APR – Análise Preliminar de Risco  
CVN – Continuous Value Network  
SVN – Single Value Network  
ELETRONORTE – Centrais Elétricas do Norte do Brasil

# **1 RECAPACITAÇÃO LINHAS DE TRANSMISSÃO**

## **1.1 Introdução**

O aumento gradativo do consumo de energia elétrica, proporcionado pelo desenvolvimento mundial juntamente com a maior oferta de produtos e serviços, associado às restrições de ordem econômica, exigindo aumentos de produtividade de forma contínua e ininterrupta, aliado as restrições cada vez maiores de ocupação do uso do solo, tem fomentado a nível mundial pesquisas, para se otimizar o uso dos corredores das linhas de transmissão, com menor espaço possível de faixa de servidão aliados a projetos que permitam o transporte de mais potência com menor custo de projeto, construção e manutenção destes corredores.

*“Na primeira década de nosso século, logo após os estudantes construírem o auditório do novo Instituto Politécnico em Petrogrado, ao longo da ala principal do parque, foi erguida uma linha de transmissão de feixe de condutores suspensos por uma cadeia de isoladores. No primeiro vão havia apenas um fio condutor, e no último havia 24 fios condutores em um feixe. No escuro era possível observar um fenômeno novo para aquele tempo: um efeito de corona nos condutores, na forma de luminescência azul-fraca. Foi uma experiência realizada pelo jovem cientista (posteriormente acadêmico) Vladimir Fedorovich Mitkevich. Os resultados deste trabalho serviram por muitas décadas, de base para o desenvolvimento da técnica de transmissão de energia elétrica” [ 1 ].*

**A transmissão de energia elétrica é fundamental para países que possuem grandes extensões territoriais como destaque para o Brasil, EUA e Rússia. Os investimentos para construção destes corredores de transmissão de energia elétrica são sempre vultosos. O custo das estruturas tanto metálica como de concreto que suportaram os cabos condutores é alto e o serviço de montagem e nivelamento destas torres é na maioria das vezes**

**complexo tanto pelas condições topográficas como pela situação muitas vezes inóspita da região. Os cabos condutores que são confeccionados com alumínio e alma de aço de diversas bitolas são caros e possuem sua estrutura externa com uma fragilidade que necessitam de um manuseio cuidadoso e com tecnologia complexa. Assim o serviço de lançamento e grampeamento destes cabos condutores e pára-raios, têm um custo bastante elevado. A construção de corredores de transmissão de energia elétrica necessita de uma faixa de terra, chamada de faixa de servidão, onde são criados os corredores para os serviços. Esta faixa de terra é proporcional à tensão de transmissão e é medida a partir do eixo da linha e se estenderá ao longo de toda extensão da linha de transmissão. Por exemplo, para linhas de 230Kv, se usa 20m de cada lado do eixo da linha. Esta largura de terra é desmatada ao longo de toda a extensão da linha de transmissão e desapropriada com indenização em dinheiro aos**

**proprietários, que representa custos altos além de negociação judiciais demoradas e complexas. As restrições de ocupação e uso do solo feitos pelos ambientalistas tem dificultado os desmatamentos principalmente em locais de vegetação protegida. Quando as linhas de transmissão saem dos meios rurais e adentram pelas cidades, a construção das faixas de servidão se transformam em pesadelo, com movimentações sociais de difícil negociação.**

O projeto de uma linha de transmissão começa com a definição da tensão de transmissão que é função da extensão, o que irá definir o tipo de cabo condutor, que por sua vez definirá o peso que as torres deverão suportar. A necessidade de otimização descrita nos parágrafos anteriores levou os pesquisadores à criação de linhas compactas, que surgem como alternativa técnica e economicamente competitiva.

As pesquisas de compactação de linhas de transmissão tem nos últimos anos se dividido em duas escolas: a escola ocidental dita tradicional e a escola Russa.

***Na escola tradicional, a compactação é “baseada na técnica de aproximação das fases e na seleção de bitolas que evitem o corona. Nas tensões maiores utiliza os mesmos feixes simétricos, com as mesmas dimensões das linhas compactas. No nível até 138KV destaca-se o trabalho [11] baseado na aproximação***



## ***das fases e utilização de condutores de grande bitola”[*** **3 ]**.

Em 1987 o Professor George N. Alexandrov publicou pela Editora da Universidade de Leningrado com o patrocínio do Ministério da Educação Superior e Média Especializada da Rússia o livro *Novos Meios de Transmissão de Energia Elétrica em Sistemas de Potência*. [1]

Neste livro o professor Alexandrov propõe uma tecnologia alternativa à escola tradicional, pouco difundida no ocidente, baseada na combinação adequada da aproximação das fases, elevação do número de condutores por fase e uma nova disposição geométrica destes condutores no feixe.

*“O método mais simples para elevar a potência natural das linhas é a aproximação dos condutores de fases vizinhas ( diminuição da distância média geométrica entre fases ), até o valor indicado pelas normas de construção de instalações. Deve-se levar em consideração o balanço dos condutores entre estruturas, bem como a sobretensão existente. A diminuição da distância entre as fases de 1,5 vezes em relação a aplicada em linhas tradicionais com a mesma disposição dos condutores, garante a elevação da potência natural da linha em níveis de até 10%. Para avaliar a distância necessária entre isoladores, deve-se utilizar os resultados da investigação da rigidez dielétrica do ar entre os condutores paralelos. A complexidade dessas investigações é determinada pela variação da rigidez dielétrica do ar entre as fases, em função, não apenas da distância entre condutores vizinhos, mas também, em função das distâncias até a terra e da relação de tensões entre condutores”*. A escola tradicional trabalha com aumento de bitola e redução das distâncias conforme estudado também pelo professor: Alexandrov. Entretanto, o salto da escola Russa está no fato de se elevar o número de condutores por fase aliado à redução das distâncias e a equalização dos campos elétricos entre os condutores. *“Uma solução radical do problema da elevação da potência natural da linha, é a utilização de condutores compostos, com a redução máxima da distância entre eles”*. [1]

Posteriormente o estudo mostra que se mantendo as disposições tradicionais de geometria tem-se uma grande limitação de elevação da potência natural da linha. *“Conseqüentemente, com o aumento do número de subcondutores da fase dispostos segundo um círculo, a maior parte do espaço entre fases é ocupada por condutores. Isto, praticamente, elimina a possibilidade do aumento proporcional da potência natural, em linhas de 35-220KV, para um número de subcondutores maior que dois-três, por causa da*

*disposição dos mesmos no espaço. As proposições do Instituto Politécnico de Leningrado e do Instituto de Projetos Energéticos, de alternativa na construção das linhas, permitem eliminar esta limitação, e garantir a elevação da potência natural proporcionalmente ao número de subcondutores por fase”.*[1] A novidade que o professor Alexandrov apresenta no seu trabalho consiste na alteração da geometria dos feixes dispostas nas fases e com isso conseguir a equalização das cargas pelos subcondutores, aumentando assim a possibilidade de redução das distâncias sem que um condutor cause corona enquanto os outros apresentem um campo baixo.

*“As fases em feixe, permitem variar a seção ativa e a superfície dos condutores. Isto, independentemente uma da outra, o que garante a possibilidade de otimização separada dos mesmos. A seção ativa dos condutores é determinada pela potência transmitida e pela densidade ótima de corrente. A superfície dos mesmos é determinada pela exigência de redução da relação entre a potência transmitida e a potência natural, a otimização da disposição dos condutores no espaço, permite igualar a distribuição de cargas pelos subcondutores dos condutores em feixe. Permite, também, igualar a intensidade do campo pela superfície dos mesmos. Desta maneira, aumenta-se significativamente a eficiência de utilização para a transmissão de energia elétrica, com uma redução significativa dos gabaritos horizontais da linha. Para redução da intensidade do campo na superfície dos condutores, na zona de localização das estruturas, é necessário reduzir significativamente a distância entre os subcondutores das fases nesta zona. Isto garante a possibilidade de utilização de condutores com grandes distâncias entre os subcondutores, nos vãos, sem elevar o gabarito das estruturas “.*[1] No capítulo seguinte o professor Alexandrov apresenta os parâmetros com toda formulação e modelagem matemática para se projetar o que passou a ser chamado de **Linha de Potência Natural Elevada (LPNE)**.” *Para uma dada tensão nominal da linha, variando o número de  $n$  subcondutores num intervalo, pode-se variar sua potência natural. Contudo, a potência natural depende do grau de utilização da superfície dos condutores o qual é determinado pelo coeficiente de utilização  $k_{ut}$ .* “[1]”.

Por volta de 1989 , o Brasil através da Eletrobrás, na intenção de estudar a exploração do potencial eletroenergético da amazônia, com suas distâncias continentais, criou uma equipe para estudar novos meios de transmissão de energia elétrica em sistemas de potência.[8]. O objetivo da Eletrobrás seria se construir linhões que partindo da Amazônia, chegasse a Recife, Salvador e São Paulo respectivamente. Esta equipe tomou conhecimento dos trabalhos do professor Alexandrov.

**Em Maio de 1993 no V Encuentro Regional Latinoamericano de la Cigré, surge o Primeiro Trabalho sobre Linhas não Convencionais de Potência Natural Elevada ( LPNE ) : Um Exercício De Prospeção Em 69kv E 138KV, dos autores, Osvaldo Regis Jr., Marcelo Maia e Antonio Pessoa Neto. [ 2 ] .Este artigo descreve os vários aspectos conceituais envolvidos numa nova técnica de concepção e projeto de linhas de transmissão. Tal técnica é o resultado de pesquisas desenvolvidas na Rússia e, através de convênio da Eletrobrás, está sendo introduzida no Brasil. A aplicação desta técnica resulta em linhas de transmissão com configuração bastante diferente das tradicionais, utilizando condutores arranjados em feixes assimétricos , e quando comparadas com aquelas de projeto convencional, apresentam uma potência natural significativamente superior. Por esta razão estão sendo denominadas genericamente de linhas**

# **não convencionais ou Linhas de Potência natural Elevada ( LPNE ).**

A tecnologia alternativa desenvolvida na Rússia e ainda pouco difundida no Ocidente, baseia-se na combinação adequada da aproximação das fases, elevação do número de condutores por fase e uma nova disposição geométrica destes condutores no feixe, alterando a distribuição circular normalmente utilizada. Além da assimetria, os feixes têm distâncias entre subcondutores de uma mesma fase maiores que as tradicionais, reduzindo o acoplamento magnético entre estes, resultando numa redução do valor da reatância própria ( $Z_p$ ) de cada fase. A redução das distâncias entre fases aumenta o campo elétrico na superfície dos condutores. Aumenta também o acoplamento entre as três fases, elevando o valor das reatâncias mútuas ( $Z_m$ ), o que significa menor reatância de sequência positiva ( $Z_1 = Z_p - Z_m$ ) e se reflete como um aumento da potência natural.

Para uma redução da distância entre fases mais acentuada que nas linhas compactas tradicionais, principalmente em 230KV e acima, a técnica russa otimiza a posição dos cabos no feixe, equalizando e maximizando as capacitâncias e os campos elétricos na superfície dos condutores. A equalização evita que um condutor tenha um valor de gradiente elevado e cause eflúvios corona enquanto os vizinhos têm o gradiente superficial baixo. Assim ao se aproximar às fases, todos condutores atingem o valor de campo elétrico máximo, resultando num valor médio superior ao encontrado nas linhas tradicionais. Este aspecto é um ponto crucial da compactação tradicional pois, com feixe simétrico, sempre existe um condutor mais estressado que irá causar corona ao se tentar aproximar mais as fases.

Em 1993 no XII SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, É Apresentado o Trabalho sobre Linhas não Convencionais de Potência Natural Elevada ( LPNE ) : Estudos Paramétricos para utilização em 69kv e 138kv, Dos Autores, Osvaldo Regis Jr., Marcelo Maia e Antonio Pessoa Neto. [ 3 ] . Este trabalho, representa quase uma cópia do trabalho anterior. Os dois trabalhos apresentam de forma sucinta a teoria desenvolvida pelo Professor Alexandrov [ 1 ] que passaremos agora a delinear.

## **1.2 Aspectos da Teoria de LPNE**

Queremos demonstrar que a potência natural de uma linha é função da tensão nominal, do raio, do número total de condutores, e do campo elétrico na superfície destes condutores. Uma análise qualitativa mostra que a utilização de feixes assimétricos leva a um maior valor

de campo elétrico médio entre os condutores, aumentando o fator de utilização ( $k_{ut}$ ) da linha com ganhos na sua potência natural.

### 1.2.1 Equações básicas

A partir das equações da capacitância, da velocidade de propagação e da impedância de surto é possível chegar a uma equação de potência natural [ 1 ] :

$$P_n = 3.U_f.v.q \quad (1)$$

Onde :  $P_n$  = potência natural  
 $U_f$  = tensão da linha  
 $v$  = velocidade de propagação  
 $q$  = carga

Para um único condutor de raio  $r_o$  , com campo elétrico  $E$  suposto uniforme, a carga  $q_o$  é dada por :

$$q_o = 2.\pi.eo.ro.E \quad (2)$$

onde :  $eo$  = permissividade dielétrica do vácuo

No feixe, o campo elétrico se distorce e o seu valor máximo é dado pelo produto do valor do campo suposto uniforme, pelo fator de não uniformidade  $Kn$ , assim :

$$E_{max} = E.Kn ; Kn = 1 +(n-1).ro/rf \quad (3)$$

Onde :  $rf$  = raio do feixe  
 $n$  = número de subcondutores

Esta expressão só é válida para carga  $q_o$  igual nos subcondutores e feixe simétrico. A carga total da fase composta de  $n$  subcondutores será dada por :

$$q = 2.\pi.eo.n.ro. E_{max}/Kn \quad (4)$$

$$\text{substituindo em (1) : } P_n = 3.2.\pi.eo.v.U_f.n.ro. E_{max}/Kn \quad (5)$$

Os russos definem o campo elétrico permissível  $E_{per}$  que limita o campo elétrico máximo  $E_{max}$  em 90% do gradiente crítico visual, para evitar o corona. Fazendo-se o  $Kn = 1$ , e utilizando-se o  $E_{per}$ , teremos o limite máximo teórico para a potência natural.

$$P_{lim} = (1/20).U_f.n.ro.E_{per} \quad (6)$$

Em uma linha real multiplicamos o seu limite teórico pelo fator de utilização  $k_{ut}$ , que será sempre menor que 1.

$$P_n = P_{lim} \cdot k_{ut} ; k_{ut} = 1/K_n \cdot E_{max}/E_{per} \quad (7)$$

Analisemos esta última equação:

1. Para se aumentar a potência natural da linha deverá se aumentar o fator de utilização  $k_{ut}$ .
2. Para tanto, deve-se aumentar o campo elétrico  $E_{max}$  e diminuir  $K_n$
3. Para aumentar o  $E_{max}$  aproxima-se as fases até o limite  $E_{per}$ , evitando corona nos subcondutores mais estressados. Este aspecto é considerado na compactação tradicional.
4. Para diminuir o  $K_n$  considerando a equação (3) pode-se aumentar o raio do feixe  $r_f$ .

Para que evitemos o corona nos subcondutores deveremos ter as cargas uniformes nos subcondutores. Esta análise será feita através das capacitâncias dos subcondutores.

A figura 1.1 abaixo mostra como se dispõe os feixes de uma LT convencional com 4 cabos por fase e os valores em pu relativos de capacitância.

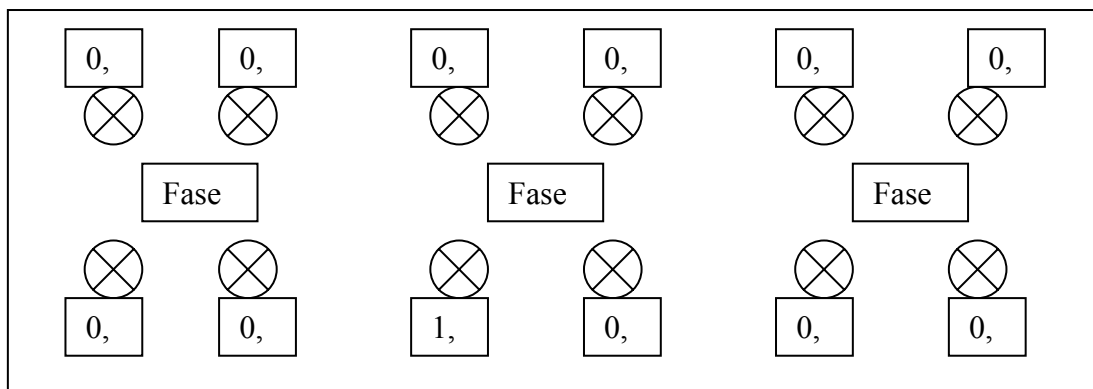


Figura 1.1 – Disposição dos feixes

A capacitância total de cada fase é igual à soma das capacitâncias de seus subcondutores.

Assim tem-se que:

1. As capacitâncias das fases não são iguais entre si  $C_b > C_a = C_c$
2. Como todos os subcondutores estão submetidos à mesma tensão e as capacitâncias ao longo do feixe variam, as cargas variam em cada subcondutor na mesma proporção.
3. Devido à influência dos vizinhos, nenhum subcondutor tem a distribuição do seu próprio campo de maneira uniforme.

Assim o cálculo de **Kn** pela equação (3) fica prejudicado, pois só é válida para cargas iguais nos subcondutores. Define-se assim **Kn** de uma nova forma que pode ser inclusive ser aplicada para feixes assimétricos:

$$\mathbf{Kn} = \mathbf{Kn1.Kn2.Kn3}$$

Onde **Kn1** = **Cmax.Cmed** ou seja, maior capacitância total de uma fase dividido pela capacitância média das três.

**Kn2** = **qijmax.qmed** ou seja, carga máxima verificada em qualquer subcondutor dividido pela carga média.

**Kn3** = **Emax.Emed** ou seja, campo máximo na superfície de um subcondutor dividido pelo campo médio.

Para se maximizar **Kut** através da minimização de **Kn**, devemos procurar diminuir cada um dos **Kn1,Kn2,Kn3**.

O **Kn1** se refere às capacitâncias totais de cada fase. A equalização dos valores das três fases iguala o valor máximo ao valor médio, e torna o **Kn1** = 1.

A figura 1.2 mostra um arranjo onde o raio do feixe da fase a é igual ao da fase c e ambas são maiores que o da fase b ( **rfa=rfc>rfb** ). Desta forma torna-se possível ter o valor total da capacitância de cada uma das três fases, iguais entre si ( **Ca=Cb=Cc** ). Note-se, porém, que os valores ao nível dos subcondutores não estão equalizados e portanto o fator **Kn2** não está minimizado.

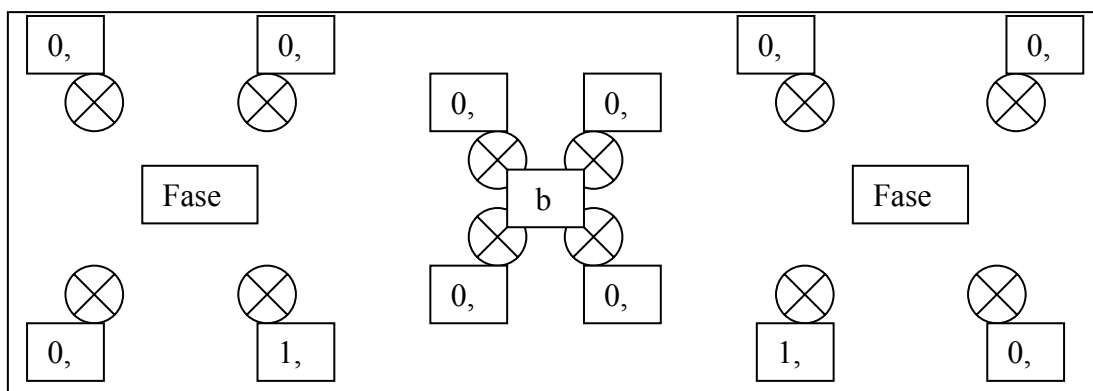


Figura 1.2 – Arranjo de feixes

Para se minimizar o fator **Kn2** deve-se equalizar as cargas ao longo dos subcondutores de cada feixe, e a figura 1.3 mostra uma configuração onde este objetivo é alcançado.

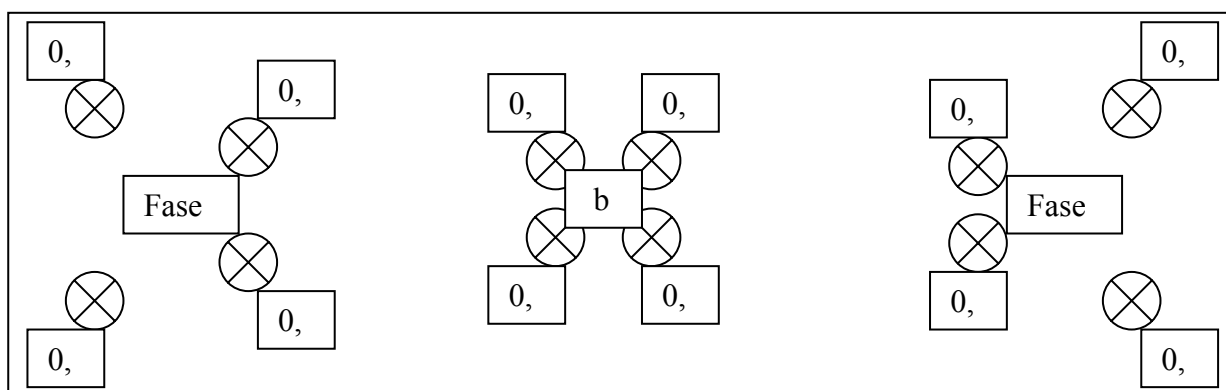


Figura 1.3 – Arranjo Kn2 minimizado

A equalização das cargas nos subcondutores tende a um valor médio, menor que o máximo anterior. Cargas menores significam campos menores e fator de utilização menor conforme a equação (7). Pode-se então aproximar as fases, até que se atinja a carga limite criando um campo elétrico máximo compatível com o campo permissível, evitando assim o surgimento de eflúvios de corona. Todos os subcondutores atingirão este valor simultaneamente. Figura 1.4

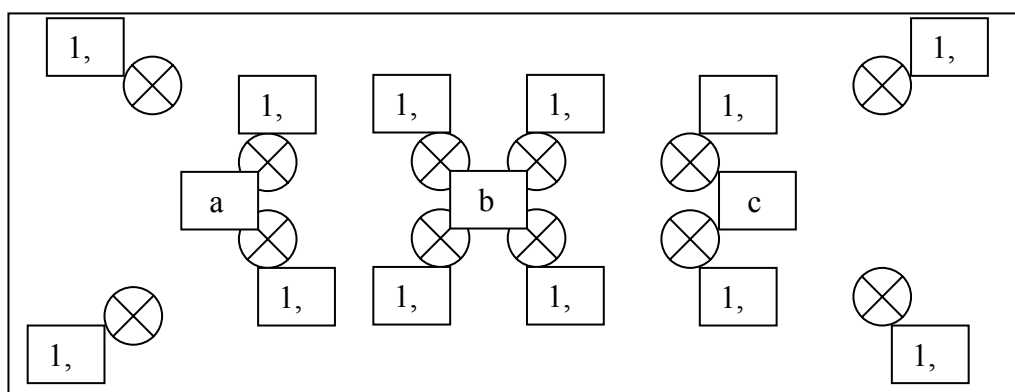


Figura 1.4 – Arranjo carga limite

O **Kn3** refere-se aos campos superficiais. Embora os valores totais das cargas em cada subcondutor sejam iguais, estas não se distribuem uniformemente devido à presença das cargas dos vizinhos. Isto cria distorções no campo de cada subcondutor e haverá sempre um campo maior que o médio, resultando em um valor de **Kn3** maior que 1.

Uma solução teórica seria a utilização de condutores de seção elíptica, com o seu eixo focal ( diâmetro maior ) alinhado na direção do campo máximo. Considerando o lado prático isto seria de implantação quase impossível ou pelo menos não econômica.

Existem diversos estudos sobre LPNE no mundo, até 1994, o quadro da tabela 1.1 abaixo mostra o estado da arte desta tecnologia

Tabela 1.1 – Estudos sobre LPNE



Tensão kV	Nome	Comprimento km	Característica			Situação
			n	D(m)	Pn(MW)	
110	Roslavi,USSR	6	1	1,5	37	Em operação - 1987
220	Mamakan-Vacha-USSR	150	2	6	190	Em operação – 1988
220	Havana Cuba	3	2	3	190	Em operação – 1986
220	Cuban Electrical System	25;45;90;120	3	3,5	275	Projeto
220	Bejin China	50	3	4,5	300	Projeto
220	Uhan China	30	3	4,5	300	Projeto
330	Kola – Michel, USSR	5	2	6,0	450	Em operação – 1983
330	Pskov- Novosokolnik,USSR	150	4	5,5	605	Construção 1991
500	Boguchansk-Kansk,USSR	2x400	6	8	1800	Projeto
500	St.Petersburg Tech.Univ	0,35	6	8	1800	Em operação – 1991
500	S.da mesa-samambaia-Brasil	270	6	6-7	1800	Proposta técnica
750	Amazonia Project Brasil	600-1800	8	11,3	3500	Proposta técnica
1150	Amazonia Project Brasil	2400-2800	11	14,3	7000	Proposta técnica

Os pesquisadores russos entendem que até 230kV não há dificuldade construtiva ou de operação. Porém no 500kV e acima, não existe experiência prática significativa.

### 1.2.2 Análise de Configurações

Foram analisadas diversas configurações para se verificar que arranjos de feixes e de fases diferentes poderiam trazer maiores ganhos que as LT's tradicionais. As análises foram baseadas nos parâmetros elétricos (impedância característica e potência natural). Foram analisadas três tipos de torres e arranjos diferentes :

#### Torre padrão 69kV tipo H ( figura 1.5)

Os valores tradicionais para 1 cabo/fase e realizados exercícios onde foram encontrados os valores apresentados na tabela 1.2 abaixo :

Tabela 1.2 – Características dos cabos

Cabos/fase	Bitola	Kg.km/fase	Pn(MW)
1	4/0	434	11,7
	336	690	12,5
2	1/0	432	15,04
	4/0	868	17,21
	336	1380	19,02
3	1/0	648	19,87
	4/0	1302	22,21
	336	2070	24,11

As principais conclusões deste exercício são:

A torre H não é compacta, mas o uso de 2 cabos 1/0 por fase, que tem o mesmo peso que 1 cabo 4/0, leva a um ganho de potência natural de 26% e com a mesma resistência. Isto significa a mesma perda se ambas as linhas tiverem mesmo carregamento.

Um feixe de 3 cabos 1/0, que é mais leve que um cabo 336, tem potência natural 55% maior e resistência ligeiramente maior. [ 2 ]

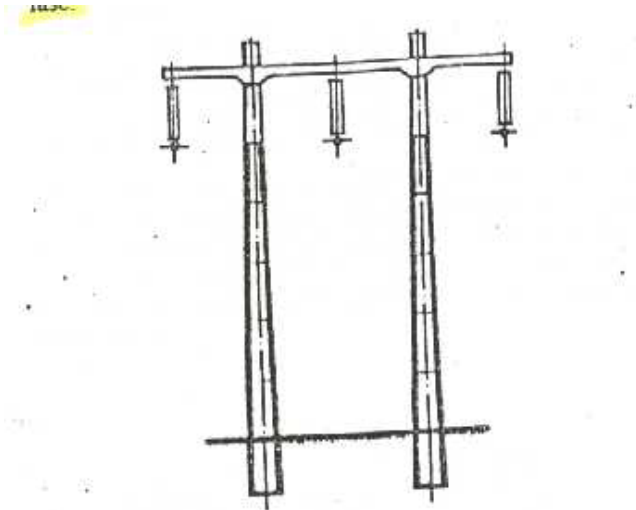


Figura 1.5 - Torre padrão 69kV tipo H

### Configurações alternativas (figura 1.6)

As tabelas 1.3, 1.4 e 1.5 abaixo resumem a análise das torres alternativas todas com 3 cabos/fase. “D” é a distância entre fases e “d” a distância entre subcondutores :

Tabela 1.3 - Torre tipo 1 – Bitola 397,5

Torre tipo 1 – Bitola 397,5			
D(m)	d(m)	Pn(MW)	%
1,4	0,3	28,37	100
	0,4	30,25	107
	0,5	31,79	112
1,1	0,3	30,85	109
	0,4	32,95	116
	0,5	34,65	122

Tabela 1.4 - Torre tipo 1 d=0,4m

Torre tipo 1 d=0,4m			
Bitola	D(m)	Pn(MW)	%
1/0	1,4	23,27	100
	1,1	24,73	106
4/0	1,4	26,77	115
	1,1	28,81	124

336,4	1,4	29,73	128
	1,1	32,33	139
397,5	1,4	30,25	130
	1,1	32,95	142

Tabela 1.5 - Análise com cabo 4/0 e d=0,5m

Análise com cabo 4/0 e d=0,5m			
Torre	D(m)	Pn(MW)	%
Tipo 2	1,4	24,7	100
	1,1	26,0	105
Tipo 3	1,4	26,1	106
	1,1	27,6	112

As principais constatações encontradas são:

1. Aumentar a distância entre subcondutores de 0,3m para 0,5m, leva a um aumento na potência natural da ordem de 12%”.
2. Reduzir a distância entre fases aumenta a potência natural, mas somente se for possível adotar o mesmo feixe. A tabela 3 mostra que a redução de 1,4m para 1,1m, com aproximação dos subcondutores de 0,5m para 0,3m, não leva a ganho na potência natural e sim uma queda de -3%.
3. Aumentar a bitola para ganhar potência natural não é muito eficiente. Na tabela 4 constata-se que o aumento de 4/0 para 397,5, que praticamente dobra o peso, leva a um aumento de potência natural de apenas 14%. As perdas Joule podem determinar a necessidade de grandes bitolas”. [ 2 ] Desta análise preliminar podemos constatar que a torre tipo 1 representa o melhor arranjo”.

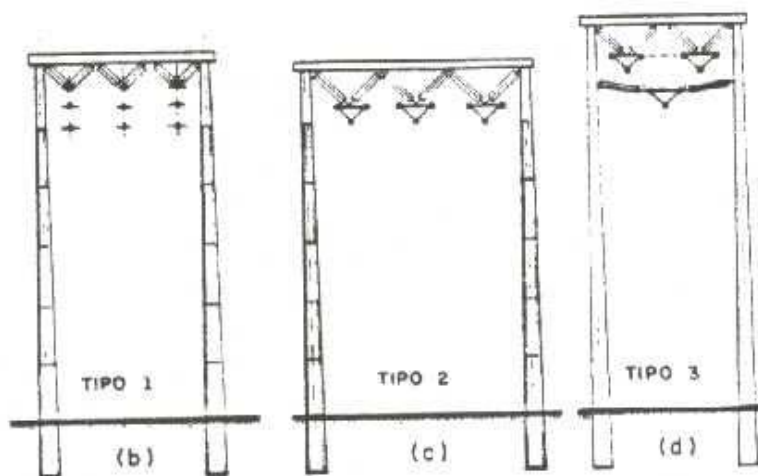


Figura 1.6 – Configurações alternativas

## Configuração mais promissora (figura 1.7)

Foi estudado uma silhueta proposta pelos russos para 220kV, como sendo exequível em termos de construção e de melhores resultados. A tabela 1.6 abaixo resume os estudos

Tabela 1.6 - Análise da torre 69kV mais promissora

Análise da torre 69kV mais promissora			
h(m)	D(m)	d(m)	Pn(MW)
0	1,0	1,0	37,25
0	1,0	1,2	38,13
0,5	1,0	1,2	38,78
1,0	1,0	1,0	40,01
1,0	1,0	1,2	40,14

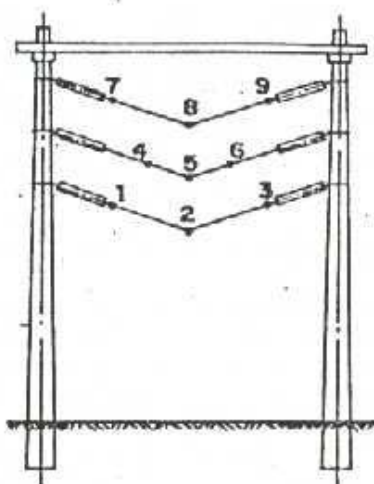


Figura 1.7 – Torre mais promissora

A LPNE é promissora, não apresenta barreira tecnológica e pode ser contemplada como uma nova alternativa no planejamento da transmissão.

### Aspectos gerais

1. A LPNE de menor tensão em substituição a linhas convencionais de maior tensão com redução no custo de investimento em subestações;

2. Menor número de circuitos de LPNE em substituição a vários circuitos de linha convencional com redução de custos de linha e de faixa de passagem;
3. Redução de fontes de reativos em relação à utilização de uma linha convencional;
4. É possível usar conceitos teóricos dos feixes da LPNE para melhoramentos em linhas existentes em vez do simples recondutoramento.

### **Aspectos da teoria**

1. É possível aumentar a potência natural, com a mesma área transversal de alumínio, substituindo o(s) condutor(es) por um número maior, com bitola inferior, desde que se procure campos elétricos equalizados. O custo de condutores será praticamente o mesmo;
2. Aumentar a área ou o número de condutores, sem a busca de campos equalizados, para elevar a potência natural, não se justifica. Uma maior área de alumínio leva um ganho na ampacidade e redução nas perdas, mas implica em aumento significativo de custos;
3. Os ganhos da compactação tradicional ( sem alteração no feixe ), são reduzidos. Aproximar fases, com aumento das distâncias entre subcondutores da mesma fase, tem eficácia mais acentuada;
4. Afastar subcondutores e adotar feixes assimétricos com equalização maximização dos campos, aproxima a potência natural ao limite teórico. Isto significa ganhos de pelo menos 100% em relação aos valores hoje praticados.

Em 1994 no encontro do BRACIER-SUPROM, surge o trabalho Linha de Potência Natural Elevada (LPNE) : Utilização do Conceito em Linhas de Transmissão Convencionais para aumento da Capacidade de Transmissão. Dos Autores : Marcelo Maia, Antônio Lisboa, Chester Fernandes, Georgij Podporkin, Osvaldo Regis Jr e Antônio Pessoa Neto. [ 4 ]

Neste trabalho surge pela primeira vez o termo **recapacitação** no sentido de aumento da capacidade de transporte de potência em linhas de transmissão.

Em 1995 no XIII SNPTEE, surge o trabalho Recapacitação de Circuitos 230kv com o conceito de Feixe Expandido. Dos Autores : Osvaldo Regis Jr., Sebastião Gusmão Cavalcanti, José Felipe Wavrik, Marcelo Maia e Georgij Podporkin. [ 5 ].

Estes dois trabalhos tem vários pontos em comum que iremos observar em conjunto. Praticamente toda teoria e exercícios de recapacitação estão contemplados nestes trabalhos.

Os aspectos do desenvolvimento dos trabalhos do professor Alexandrov são adaptados para experiências de LPNE com feixe expandido. O primeiro, trata questões mais ligadas a LT, enquanto no segundo, são feitos estudos de sistema.

A recapacitação aparece no sentido não de projeto de novas linhas de transmissão, porém em uma técnica para se aumentar a potência transmitida de uma linha já existente. “*O termo tem sido usado de forma genérica para designar ações e melhoramentos no parque existente no sentido de aumentar a sua capacidade ou sua disponibilidade*”. [5] A recapacitação convencional (escola norte-americana) enfatiza apenas os aspectos da ampacidade, enfocando o limite térmico da linha e as distâncias de segurança condutor solo. Esta técnica é conseguida através de:

1. Aumento da altura útil do cabo ao solo, pela elevação (ex: suspensão de cruzeta ) ou retensionamento dos condutores existentes ou ainda raspagem do solo e retirada de obstáculos embaixo da linha;
2. Aumento da área de alumínio, pelo acréscimo de mais condutores (geminção ) e/ou troca dos condutores por outros de maior área (recondutoramento). Neste caso, há uma redução na resistência da linha, e para a mesma potência transmitida, há uma redução proporcional nas perdas. [ 5 ]

A capacidade máxima de transporte de uma linha de transmissão não depende somente dos aspectos termo-mecânicos desta, referente ao limite térmico ou ampacidade. Como uma linha esta inserida em um sistema de transmissão , sua interação principalmente os parâmetros L (indutância) e C (capacitância), com o sistema, será determinante na sua capacidade de transmissão de potência. Através destes parâmetros calcula-se a impedância característica (**Z<sub>c</sub>**) e a potência natural SIL (“*surge impedance loading*”) [ 4 ], que é o valor de fluxo na linha, tal que não há queda de tensão significativa nem consumo de reativo pela mesma. “*Em suma, mesmo linhas de alta ampacidade podem ter a sua capacidade de transmissão limitada por questões de sistema*”. [ 5 ]

As técnicas convencionais de recapacitação não alteram significativamente os parâmetros elétricos L e C da linha de forma que não se traduzem em ganhos para a impedância característica e potência natural. A técnica de recapacitação com conceito LPNE , consegue elevar o SIL, e o aumento do fluxo através da LT ocorre naturalmente.

A recapacitação com a técnica do feixe expandido é um conceito chamado de “*taylor made*”, pois é necessário se fazer análises de engenharia de cada caso pois em certos casos apenas o aumento da distância entre subcondutores que tem um custo baixo, poderá trazer um ganho de SIL satisfatório. Em linhas com um só cabo por fase, o recondutoramento pode ser a

saída, porém a tabela 6 abaixo mostra que um ganho de apenas 2,3% no SIL é conseguido com um aumento de 25% de peso do condutor.

*Tabela 1.7 - Ampacidade SIL após recondutoramento*

Ampacidade SIL após recondutoramento						
Bitola MCM	PESO		AMPACIDADE		SIL	
	Kg/km	%	MW	%	MW	%
636	1302	100	240	100	130,5	100
795	1627	125	276	114,8	133,5	102,3

Um custo adicional pequeno pode ser conseguido com a opção da colocação de um novo condutor na linha. Para os casos em que o estudo mecânico indique a impossibilidade de adição de condutor idêntico, pode-se colocar um segundo condutor de bitola inferior à do existente ou substituir o existente por dois mais leves.

A tabela 1.8 abaixo, mostra estudos para adição de um segundo condutor em uma linha existente utilizando a técnica do condutor geminado e a do feixe expandido.

*Tabela 1.8 - Adição segundo condutor*

636 MCM	Peso	E <sub>max</sub>	Ampacidade		SIL	
	%	Kv/cm	MW	%	MW	%
Geminado	200	12,53	480	200	184,2	141,1
expandido	200	16,55	480	200	251,0	192,3

Observamos que para uma mesma ampacidade, na técnica do feixe expandido se tem um acréscimo de 67MW no SIL, com praticamente o mesmo custo.

*“A introdução do segundo condutor de modo adequado, produz um aumento de SIL superior a técnica tradicional (geminada). Para os cabos analisados obteve-se os seguintes ganhos: na tensão de 69kV, o ganho chegou a 23%, em 138kV a 31% e em 230kV a 36%”. [ 4 ]*

A recapacitação com a técnica do feixe expandido apresenta uma análise de custo bastante atraente pois apresenta uma disponibilidade de capacidade natural de transmissão a um custo relativo quatro vezes menor. A tabela 1.9 apresenta um estudo de custos extraídos do banco de dados – Sistema de Preços Básicos – SIPREB – Programa de Orçamento de Linhas de Transmissão - OLT da ELETROBRÁS, e convertidos em dólar na taxa média de CR\$ 277,75 em dezembro de 1993. Nesta tabela, vemos a comparação entre os custos de recapacitação e os custos de implantação por quilometro de uma linha com as mesmas características físicas de uma existente. ( LT 230kV Paulo Afonso/Angelim com 221km).

Tabela 1.9 – Análise de custos

	Recapacitação (US\$)	Implantação (US\$)	Relação %
Materiais	1.993,00	50.582,00	3,9
Mão de obra	2.280,00	22.783,00	10,0
Custo total	4.273,00	73.365,00	5,8

“Ações no sentido de apenas aumentar a ampacidade das linhas de transmissão podem não ser suficientes para se obter a máxima capacidade das instalações existentes. Sistemas com linhas longas, ou mesmo curtas em paralelo, exigem antes a adequação do SIL. O conceito LPNE apresenta opção economicamente atrativa para recapacitar corredores de transmissão e o aspecto mais marcante é a otimização na potência natural das LT’s”. [ 5 ].

Em 1996 no CIGRÈ – PARIS, o Prof. Alexandrov apresenta o artigo : The Increase of Effectiveness of Transmission Lines and their Corridor Utilization. Dos autores : George Alexandrov e I.M. Nosov . [ 6 ]

Este artigo, apresenta uma extensão da teoria da LPNE para linhas de 500kV e 1150kV. Não surgem grandes novidades apenas os arranjos necessários para linhas desta gama de tensões. Com isto o professor Alexandrov demonstra que para qualquer faixa de tensão é possível utilizar a teoria de LPNE.

Em 1997 no XIV SNTPEE é apresentado o trabalho: Estudos e Aplicação do Feixe Expandido em LT de 500KV. Dos autores: Osvaldo Régis Jr., Sebastião Gusmão Cavalcanti, Antônio Pessoa Neto e Fernando Dart. [ 7 ]. “Este informe propõe a aplicação do feixe expandido, técnica derivada da LPNE, também às LT de 500kV convencionais, enfocando estudos elétricos, otimização da geometria dos feixes, aspectos de engenharia e custos, e aplicação em LT nova ou7 recapacitação das existentes”. [ 7 ]

Apesar de nossos estudos de análise de risco serem efetuados na recapacitação de linhas de 230kV, aspectos interessantes deste trabalho devem ser considerados.

As linhas convencionais de 500kV utilizam 4 condutores por fase dispostos de forma cilíndrica com 18 polegadas de distância entre subcondutores, em torres tipo H convencionais. “Os famosos dogmáticos 0,457m ou (“18 inches”) de separação entre subcondutores no feixe, impostos pela escola americana à engenharia brasileira, precisam ser esquecidos quando se busca a maximização do SIL”. [ 7 ]. Simulações de sistema mostraram ganhos de 20% com a utilização da técnica do feixe expandido, entretanto deixam-se os espaçadores tradicionais e prospecta-se com arranjos trapezoidais. Outro estudo que o trabalho apresenta refere-se às características das torres, mostrando-se as vantagens da torre estaiada tipo V3 em comparação a tipo raquete.(Figura 1.8 ).



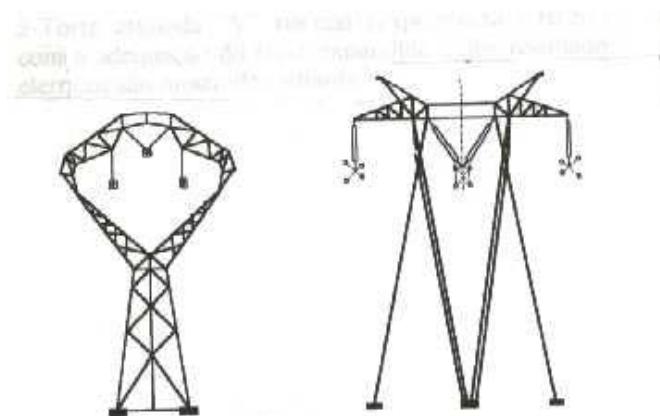


Figura 1.8 – Torre estaiada tipo V3

“Em síntese o uso do feixe expandido é uma questão de adequação do projeto, com o conceito de solução “feita sob medida (taylor made)”, sendo essencial criatividade e bom senso, aliada a uma integração das diversas áreas de conhecimento. Tem mostrado nos estudos, com o conhecimento adquirido e as ferramentas disponíveis uma grande potencialidade e em alguns casos poderá ter uma relação benefício/custo muito vantajosa”. [ 7 ].

Em 1998 no CIGRÈ – PARIS, é apresentado o artigo : Expanded Bundle Technique : The Application of HSIL T1 Concept to Increase the Capacity of Overhead Lines. Dos autores : Osvaldo Régis Jr, Sebastião Gusmão Cavalcanti, Antônio Pessoa Neto, L.A de M. Cabral Domingues, F. Dart e Marcelo Maia. [ 8 ]. É uma espécie de resumo de toda pesquisa desenvolvida no Brasil desde então. Desde os primeiros conceitos para linhas de 69kV até estudos recentes para recapacitação de 500kV. “Since 1992 Chesf, Furnas and Cepel, sponsored by Eletrobrás, have been developing studies in order to design and construct HSIL TL’s from 69kV up to 500kV”. [ 8 ].

O trabalho mostra o estado da arte no Brasil :

Em 1994 a CHESF montou e energizou um trecho experimental de 1,6Km nos arredores de Recife, de uma linha de 230kV com 3 condutores por fase na técnica de LPNE com feixe expandido.

No mesmo ano a CHESF, utilizando a técnica de feixe expandido, efetuou uma recapacitação na linha de 230kv, circuito duplo Paulo Afonso/Milagres, operando com dois condutores por fase em um trecho de 3km.

Em 1996 a CHESF recapitou a linha Banabuiú/Fortaleza 230kV com 180km, com o arranjo de feixe expandido instalado em ambos os circuitos. Em 1997 o trecho Paulo Afonso/Milagres/Banabuiú, no mesmo corredor, foi recapitado, nos 480km restantes, completando assim 660km de circuito duplo com a solução de feixe expandido.

Este corredor Paulo Afonso Fortaleza é estudado como aplicação no trabalho e apresentadas os estudos para 740km em 500kV no segundo circuito da interligação Norte-Nordeste.

Em 1999, no XV SNPTEE foi apresentado o trabalho Novos Métodos para aumento de Potência de LT Até 230kv : Estudos, Projeto E Implantação Comercial. Dos autores : Antônio Pessoa Neto, Osvaldo Régis Jr. José Sarmiento Sobrinho, Roberval Luna da Silva, Sebastião Gusmão Cavalcanti, Fernando Chaves Dart e L. Cabral Domingues.[ 9 ]. Após todos os conhecimentos teóricos consolidados, este trabalho “faz um estudo de custo x benefício para um caso real de obra visando repontencializar linhas de transmissão em 230kV, sendo duas delas em Circuito Simples (CS), em paralelo, com 250km de extensão cada; estando a primeira em operação desde 1974 e a segunda foi energizada 4 anos depois. Foram originalmente construídas com estruturas metálicas e concreto, sob uma configuração horizontal de um condutor Grosbeak por fase. A outra em Circuito Duplo (CD), com 400km de extensão em operação desde 1976, construído com estruturas metálicas autoportantes”.

Em Abril de 2000, este mesmo trabalho foi atualizado e publicado na Revista Eletricidade Moderna com o Título : Novos Métodos para Aumentar a Potência de Linhas de até 230kv. Com os mesmos autores [ 10 ].

Alguns aspectos construtivos são bastantes interessantes neste trabalho que iremos ressaltar.

O conceito de feixe expandido, aqui chamado de FEX é utilizado para redução “*on-line*” da reatância e o aumento da seção condutora chamado de DUFEX. A recapitação como vimos anteriormente engloba várias soluções, tradicionais e a técnica da LPNE com expansão de feixe. Entretanto, para se conseguir uma otimização da recapitação, deve-se “avaliar os parâmetros ideais da linha de transmissão dentro do sistema no horizonte planejado”. As soluções a serem adotadas, como um misto de várias alternativas só serão definidas após se fazer o levantamento das condições atuais intrínsecas e extrínsecas, como limitações de temperatura máxima em condições de demanda limite, distâncias cabo solo trecho a trecho, condições de folga de projeto nas estruturas etc. Estes levantamentos prévios são de três tipos :

- Preliminar para anteprojeto;
- Detalhado, para projeto executivo; e

- Final, sob responsabilidade da empreiteira contratada para efetuar a obra.

Em ambas as linhas escolhidas para a recapacitação, optou-se por utilizar a adição de mais um cabo por fase com geometria “quase” otimizada. Porém na linha de CS, optou-se por uma configuração DUFEX mostrada na Figura 1.9 e no CD optou-se por uma configuração em SUPERFESTÃO mostrada na figura 1.10.

### **Configuração DUFEX**

O maior coeficiente de segurança e a maior facilidade de reforçar as estruturas de CS permitiram adotar, na configuração padrão, um cabo de maior secção, com alma de aço para tracionamento independente por equivalência de flecha; e maior envergadura de feixe. “ *o cálculo vão a vão permite apontar as poucas estruturas que precisam de reforço, aplicado por estai ao nível de ancoragem do novo cabo, convertendo-se a sobrecarga em nova compressão dos postes, que suportam pressões muito maiores*”. Nas poucas torres de aço, a contração do feixe pôde ser obtida transformando a cadeia I em V lateral. Nas torres de aço de ancoragem (de pequena quantidade), a fase central só permite um feixe de 1 metro (altura da fase), dispensou-se a contração da fase lateral. Ainda outras estruturas de pequena monta foram analisadas e soluções “*taylor made*”, foram implementadas.

As estruturas metálicas de maneira geral, soluções mais simples de implementação foram adotadas. Nas estruturas de concreto, a situação é mais crítica. “*Estão previstas três situações de reforço. Quando a nova carga de projeto é maior do que a carga nominal do poste, a solução prevista é introduzir estais, modificando o sistema estrutural existente. Se o novo momento de tombamento, aplicado ao nível do terreno, é superior ao momento teórico resistente do engaste, para as condições locais de subsolo, a solução estabelecida foi reforçar as fundações. Nesse caso, dois sistemas de reforço estão previstos : introduzir placas laterais pré-moldadas, para reduzir o valor das pressões sobre as paredes das cavas de fundação; ou substituir o reaterro original por solo-cimento ou concreto ciclópico*”.

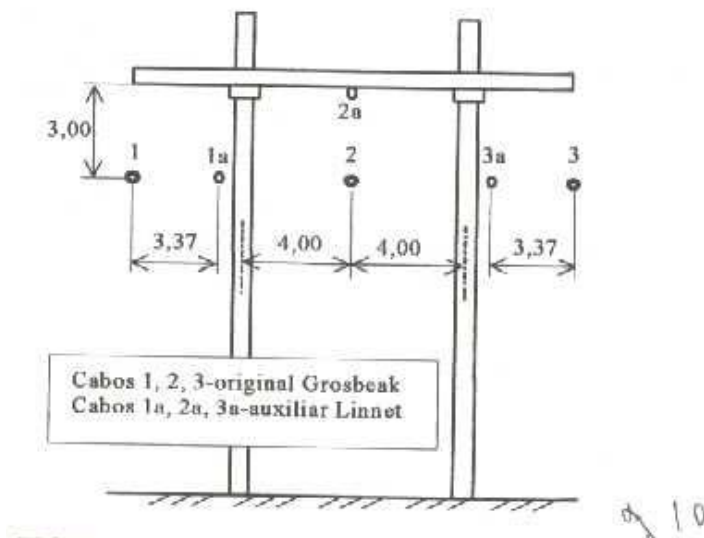
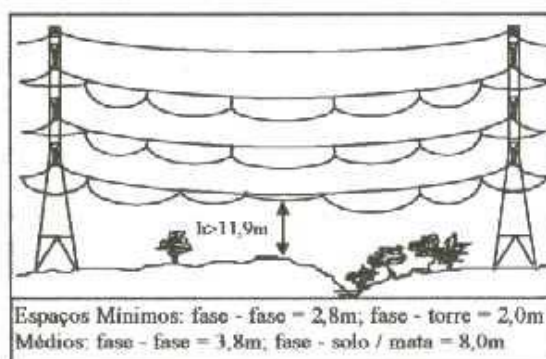


Figura 1.9 – Configuração DUFEX

### Configuração SUPERFESTÃO

“Embora o coeficiente de segurança e os critérios de vento adotados na linha de transmissão de circuito duplo vertical sejam semelhantes aos do circuito simples, o projeto estrutural e a plotação mais otimizados não permitiram sobrecargas acima de 30% em peso e 45% em área”. A solução adotada foi utilizar um cabo sem a alma de aço, portanto mais leve cuja seção é um terço daquela existente, aumentando assim a transmissão sem crescimento nas perdas, com pequena redução da temperatura e da potência máxima transmitida. A geometria utilizada onera o tracionamento e a flecha do cabo existente em uma parcela aceitável. Utilizou-se espaçadores flexíveis adequado às baixas cargas mecânicas. Este espaçamento foi padronizado em 45 cm para facilitar a instalação pioneira, embora pudesse ser otimizado para a variação do campo elétrico nas três fases e ao longo do vão. Os problemas estruturais aparecem como cabo baixo, que são facilmente absorvíveis. “Casos mais graves de cabo baixo (como travessias no limite) também podem ser resolvidos transformando-se a suspensão em semi-ancoragem”. No encabeçamento das subestações, onde é prática a derivação para equipamentos com pulos, a instalação do festão será dispensada, resultando em elevação de temperatura do condutor para mais ou menos 80°C, perfeitamente tolerável.



*Figura 1.10 – Configuração SUPERFESTÃO*

Em 15 de abril de 2000, já estava concluído o serviço de aplicação do SUPERFESTÃO no trecho em circuito duplo a um custo de US\$ 20.000,00 por km. Em julho de 2000 foi iniciado o serviço no circuito simples a um custo de US\$ 22.000,00 por km.

## **2 O PROCESSO DE RECAPACITAÇÃO**

### **2.1 Introdução**

**O processo de recapacitação com a técnica de feixe expandido, envolve atividades de construção e montagem de linhas de transmissão. Os trabalhos são feitos na maior parte do tempo com circuitos e/ou trechos energizados, e quando desenergizados com bastante indução, proveniente dos corredores paralelos.**

Neste capítulo, vamos descrever passo a passo os procedimentos para recapacitação de um tramo básico da **LT 230Kv Paulo Afonso/Bom Nome/Milagres**, obra contratada pela CHESF, através de licitação.

Todas as informações aqui descritas foram obtidas através de documentos internos da CHESF, reuniões, observações diretas de campo, entrevistas com especialistas, reuniões etc.

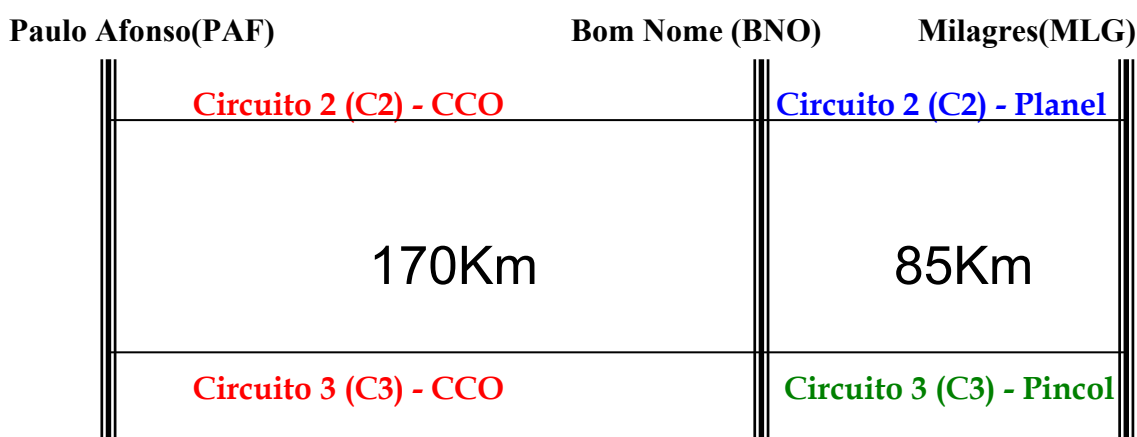
A decisão de promover a recapacitação da **LT PAF/BNO/MLG C2 e C3** está ligada aos quatro pontos principais abaixo :

1. Aumentar a capacidade de transmissão destas LT's (60%) necessária quando o Nordeste se transformar em exportador de energia.
2. Possibilitar a transformação para 500 KV da LT Itaparica/Milagres/Quixadá/Fortaleza que opera atualmente em 230 KV sendo originariamente construída para 500 KV, aumentando assim sua capacidade de transmissão em 100%
3. A CHESF é remunerada pela capacidade de transmissão de cada uma de suas instalações.
4. Esta transformação agregará cerca de 5% na atual receita de transmissão da companhia.

**As Empresas CCO – Telecomunicações Ltda., a  
PLANEL Engenharia e A PINCOL Engenharia  
foram vencedoras da licitação com o seguinte  
esquema de trabalho :**

### Características da Linha

Trecho : PAULO AFONSO/BOM NOME -170Km - C2 e C3 (circuitos 2 e 3) - CCO  
 Trecho : BOM NOME/MILAGRES - 85Km - C2 – Planel  
 Trecho : BOM NOME/MILAGRES - 85Km - C3 – Pincol



*Figura 2.1 – Diagrama esquemático da Linha*

No trecho PAF/BNO com 170Km C2 e C3 a técnica usada é o DUFEX

*Tabela 2.1 – Quadro de estruturas PAF/BNO*

<b>QUADRO DEMONSTRATIVO DAS ESTRUTURAS EXISTENTES</b>			
<b>Trecho C2</b>		<b>Trecho C3</b>	
<b>Tipo</b>	<b>Nº</b>	<b>Tipo</b>	<b>Nº</b>
H-ARB	479	H-ARB	567
<b>H-ALS</b>	10	<b>H-ALS</b>	0
<b>H-AGB</b>	2	<b>H-AGB</b>	1
<b>H-APV</b>	2	<b>H-APV</b>	0
<b>H-AL</b>	37	<b>H-AL</b>	30
<b>T-A</b>	5	<b>T-A</b>	38
<b>T-B</b>	3	<b>T-B</b>	6
<b>T-C</b>	14	<b>T-C</b>	13
<b>TOTAL</b>	<b>552</b>	<b>TOTAL</b>	<b>655</b>

No trecho BNO/MLG com 85Km, C2 e C3 a técnica usada é o DUFEX

*Tabela 2.2 – Quadro de estruturas BNO/MLG*

<b>QUADRO DEMONSTRATIVO DAS ESTRUTURAS EXISTENTES</b>			
<b>Trecho C2</b>		<b>Trecho C3</b>	
<b>Tipo</b>	<b>Nº</b>	<b>Tipo</b>	<b>Nº</b>
H-ARB	227	H-ARB	212
<b>H-ALS</b>	-	<b>H-ALS</b>	-
<b>H-AGB</b>	-	<b>H-AGB</b>	-
<b>H-APV</b>	-	<b>H-APV</b>	-
<b>H-AL</b>	17	<b>H-AL</b>	14
<b>T-A</b>	6	<b>T-A</b>	50
<b>T-B</b>	1	<b>T-B</b>	3
<b>T-C</b>	4	<b>T-C</b>	5
<b>TOTAL</b>	<b>255</b>	<b>TOTAL</b>	<b>285</b>



Esta obra foi iniciada em julho de 2000 e concluída em abril de 2001, consumindo recursos de R\$ 10.300.000,00

## **Características do Meio Ambiente**

O relevo da região pode ser sumariamente caracterizado, em percentuais, nas seguintes ocorrências:

- ▶ Plano : 36% (trinta e seis por cento) – PAF/BNO/MLG
- ▶ Ondulado : 46% (quarenta e seis por cento) - PAF/BNO/MLG
- ▶ Montanhoso : 18% (dezoito por cento) - PAF/BNO/MLG

O solo da região pode ser classificado, em percentuais, nas seguintes categorias:

- ▶ Terreno firme (categoria A) : 42% (quarenta e dois por cento) – PAF/BNO/MLG
- ▶ Rocha (categoria B) : 38% (trinta e oito por cento) - PAF/BNO/MLG
- ▶ Rocha (categoria C) : 20% (vinte por cento) - PAF/BNO/MLG

A vegetação da região pode ser classificada, em percentuais, nos seguintes tipos:

- ▶ Mata rala com arvores ou arbustos ate 5 metros : 8% (oito por cento) – PAF/BNO/MLG
- ▶ Capoeira : 52% (cinquenta e dois por cento) - PAF/BNO/MLG
- ▶ Culturas diversas e campo : 30% (trinta por cento) - PAF/BNO/MLG
- ▶ Cultura de cana-de-açúcar : 10% (dez por cento) – PAF/BNO/MLG

O período de chuvas na região, compreende a época entre os meses de dezembro a junho.

A faixa de servidão será de 40 metros, onde não houver paralelismo e 30 metros entre eixos nos trechos de paralelismo.

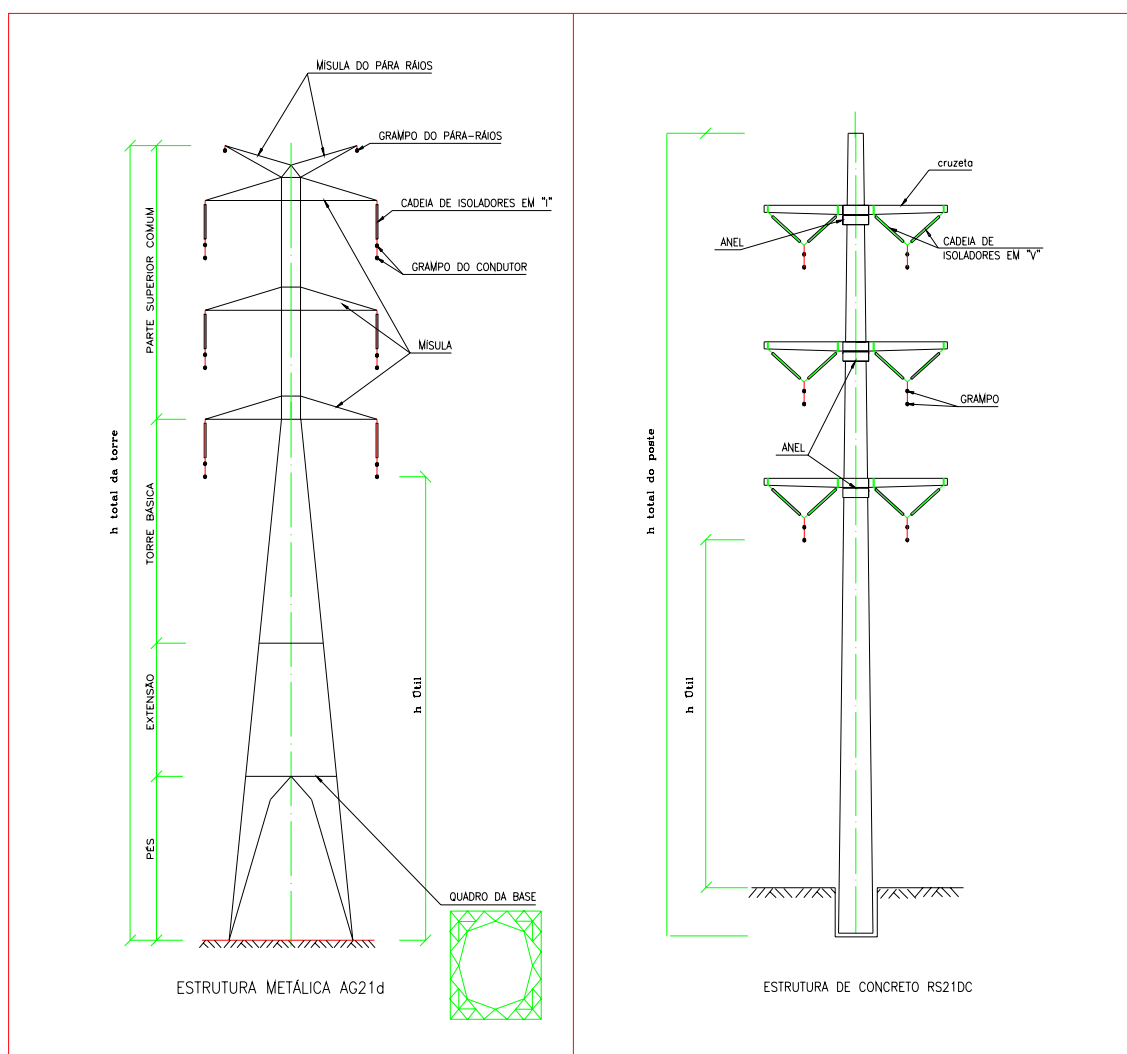
A largura da faixa de servidão e a de limpeza, serão de acordo com as instruções técnicas da CHESF.

Estão previstos, desmatamentos não seletivos e erradicações da vegetação nos locais das estruturas, quaisquer que seja a vegetação, numa área de 30x30 metros, bem como, nos pontos críticos dos vãos, numa área de 100x70 metros (extensão x largura), onde ocorrer canavial.

Em reservas florestais, o desmatamento será seletivo, apenas numa faixa de 5 metros de largura ao longo da faixa de servidão e de limpeza. Onde não ocorrer canavial, será executado desmatamento seletivo, sendo que, numa faixa de 5 metros de largura ao longo da faixa de servidão, o desmatamento será não seletivo, qualquer que seja a vegetação. Os desmatamentos, seletivos ou não, previstos a serem executados na faixa de 5 metros de largura, visam facilitar o lançamento dos cabos.

## 2.2 Definições e Equipamentos Auxiliares

**Iniciaremos com as definições associadas às estruturas metálicas e de concreto, que apresentamos no desenho a seguir:**



*Figura 2.2 – Diagrama de estruturas*

Alguns conceitos e definições são necessários para a compreensão do texto que descreve o processo da recapacitação.

**ALÇA DE ANCORAGEM (PREFORMADO DE ANCORAGEM)** : ferragem usada para prender o cabo de ancoragem na haste da âncora.

**AMORTECEDORES (STOCKBRIDGE)** : acessório para proteção do cabo contra vibração eólica.

**ARRAIA** : contra-peso usado na junção entre o cabo piloto e os cabos condutores durante o lançamento, evitando a torção dos cabos.

**BALANCIM EXPANDIDO** : ferragem usada nas cadeias de suspensão para prender os cabos condutores.

**BALANÇO ASSÍNCRONO** : fenômeno que ocorre nos cabos, em vãos maiores que 500m, devido à ação do vento, podendo provocar curto fase-fase. Em vãos menores que 500m, o balanço ocorre sincronizadamente o que não provoca risco de desligamento.

**BALIZA DE GABARITO (BALIZA TOPOGRÁFICA)** : vareta de ferro pintada com faixas de vermelho e branco para auxiliar nas medições topográficas.

**BICICLETA** : ferramenta utilizada pelo eletricitista para deslocamento ao longo dos cabos.

**BRAÇADEIRA** : ferragem para fixação.

**BRAÇADEIRAS DE ANCORAGEM** : para fixação do cabo de ancoragem (estai) no poste.

**CADEIA DE ANCORAGEM** : cadeia de isolador que interliga o cabo a torre.

**COME ALONG (CAMELÕES ; MORCETE)** : ferramenta utilizada para tracionamento de cabo.

**CAMISA TIPO ELÁSTICA** : ferramenta utilizada para puxamento do cabo pela sua extremidade.

**CATRACA** : ferramenta utilizada para suspensão e tração, semelhante a um guincho.

**CAVALETE** : estrutura auxiliar, geralmente de toros de madeira ou andaimes de tubo metálico, utilizadas para proteção nas travessias.

**CONECTORES TIPO CUNHA** : ferragem para conexão elétrica com fixação em forma de cunha.

**CONEXÕES TIPO TRESPASSADAS** : tipo de conexão do cabo Linnet com o Groasbeak, feita em casos de fim de tramo com folga no Linnet.

**CREEP** : fenômeno de dilatação do cabo após o nivelamento ao longo do tempo.

**DESPACHO DE CARGA** : setor de operação do sistema responsável pelas manobras.

**DISTANCIÔMETRO ELETRÔNICO** : instrumento eletrônico para medições topográficas.

**DISTORCEDOR (LUVA GIRATÓRIA)** : ferramenta utilizada na extremidade do cabo piloto e condutor, para evitar a influência da torção de um cabo no outro durante o lançamento.

**ELO BOLA** : ferragem utilizada para conexão mecânica da cadeia de isoladores com a torre.

**ENCABEÇAMENTO** : processo de fixação do cabo condutor nas estruturas de ancoragem.

**ENFORCAMENTO** : tracionamento provocado pela conexão do cabo Grosbeak com o Linnet, suspendendo a cadeia de isoladores do Grosbeak, folgando.

**ESTICADOR (GRAMPO TENSOR)** : ferramenta utilizada para tracionamento de cabo.

**ESTROPOS** : ferramenta auxiliar fabricada em cabo de aço ou corda, para fixação.

**EXTENSÃO REGULAVEL** : ferragem utilizada para regulagem durante o ajuste fino no nivelamento do cabo.

**FLECHA** : medida entre o ponto mais baixo da catenária formada pelo cabo e a linha imaginária entre os pontos de fixação do cabo em um vão.

**GABARITO** : ferragem auxiliar que serve como medida de referência.

**GRAMPEAMENTO** : ação de prender o cabo a cadeia de isolador.

**GRAMPO DE ANCORAGEM** : ferragem para grampeamento em estruturas de ancoragem.

**GRAMPO DE SUSPENSÃO** : ferragem para grampeamento em estruturas de ancoragem.

**MOITÃO** : ferramenta de corda e roldana utilizada para elevação de material.

**OFFSET** : medida de elasticidade do estado final de creep para correção de nivelamento.

**PONTO DE PEGA** : pontos de fixação dos estais.

**PORTA-BOBINA** : cavalete utilizado para montagem da bobina de cabo na praça de lançamento.

**PULO DE CONTINUIDADE** : peça de interligação entre os cabos na cadeia de ancoragem.

**RAQUETE-ANTENA** : suplemento de cabo utilizado para fixação do cabo Linnet nas cadeias de isoladores.

**REBOBINADOR** : equipamento utilizado na praça do puller para rebobinar o cabo piloto.

**ROLDANA (BANDOLA)** : ferramenta para passagem do cabo nas cadeias de isoladores.

**SAFENA** : tipo de conexão do cabo Linnet ao Grosbeak em casos de fim de tramo sem folga no cabo Linnet.

**STOCKBRIDGE** : marca de fabricação de amortecedor.

**TENSOR** : ferragem utilizada para ajuste fino de forma contínua, durante o nivelamento do cabo.

**TIRFOR** : espécie de guincho.

**TRAMO** : trecho compreendido entre duas estruturas de ancoragem.

**TRANSPOSIÇÕES** : inversões físicas das fases para regulagem de reativo e acoplamento de parâmetros da linha.

**VÃO DE FRENTE** : vão após a estrutura considerando o sentido de fluxo da linha.

**VÃO DE RÉ** : vão anterior a estrutura considerando o sentido de fluxo da linha.

**VARA TELESCÓPICA** : vara isolante para medir altura cabo-solo.

**VARETAS PREFORMADAS** : acessório utilizado para proteção ou emenda de cabo.

**VISADAS** : ponto topográfico alcançado pelo teodolito.

### 2.3 O Processo de Recapacitação da LT PAF/BNO/MLG



*Figura 2.3 – Foto do trabalho de Recapacitação*

De maneira simplificada, o processo de recapacitação consiste em se instalar roldanas deslizantes nas estruturas, em um dado tramo, lançar um cabo piloto e seguindo este o cabo condutor Linnet auxiliar. Após o encabeçamento do Linnet em uma das extremidades do tramo, nivela-se este cabo auxiliar para manter as distâncias de segurança em relação ao cabo Grosbeak. Instala-se as cadeias intermediárias e suplementos e após o aterramento do tramo, efetua-se o encabeçamento definitivo da outra extremidade. Nesta fase temos os dois cabos instalados e nivelados. Instala-se os pulos de conexão dos cabos Grosbeak e Linnet e a seguir ajusta-se a tração para correção do creep. Desfaz-se o aterramento do tramo e libera-se a linha.

Basicamente nos trabalhos de recapacitação citamos : o cabo condutor original que já está instalado na linha e o cabo auxiliar que é instalado próximo ao cabo condutor original criando a geometria ótima para a recapacitação. Os cabos podem ser de dois tipos quanto a

sua suportabilidade a tração CA – Cabo de alumínio puro e CAA – cabo de alumínio com alma de aço. Os cabos variam em bitola e características com vemos nas tabelas abaixo:

*Tabela 2.3 – Características dos Cabos*

TIPO	CAA			
CÓDIGO	<b>Linnet</b>	<b>Grosbeak</b>	<b>Flint</b>	<b>Butte</b>
DIÂMETRO	18,31 mm	25,15 mm	25,13 mm	16,25mm
PESO	0,689 kg/m	1,302 kg/m	1,03 kg/m	0,437kg/m
CARGA DE RUPTURA	6.397 daN	11.380 daN	11.034daN	4.818daN
SENTIDO DO ENCORDOAMENTO	horário	horário	horário	horário

*Tabela 2.4 – Propriedades dos Cabos*

CARACTERÍSTICA	<b>Linnet</b>	<b>Grosbeak</b>	<b>Flint</b>	<b>Butte</b>
Tração EDS 25°C (daN)	1.320	2.268	2.268	890
Tração máxima de trabalho 20°C(daN)	2.000	3.200	3.200	1.500
Pressão do vento (daN/m <sup>2</sup> )	44	44	44	44
Tração média p/temperatura mínima 10°C(daN)	1.600	3.200	3.200	1.500

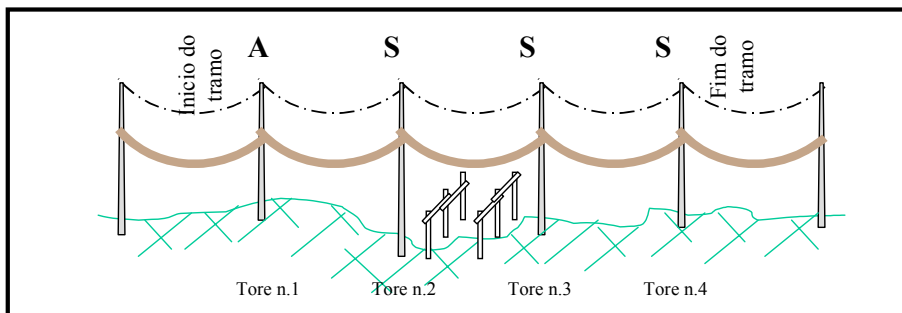
O processo completo de recapitação é dividido em 16 etapas a seguir :



### **2.3.1 Instalação de Empancaduras**

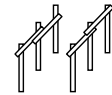
#### **Operação planejada para ser efetuada com linha energizada**

As empancaduras são estruturas auxiliares, utilizadas como proteções nas travessias, de estradas, rios, riachos e principalmente quando com outras linhas já existentes com cabos energizados. As empancaduras são feitas na maioria das vezes de postes de eucalipto dispostos em forma de treliças ao longo da linha, que será atravessada, com amarração superior de cordas de nylon específicas para trabalhos em linhas energizadas.



**Convenções :**

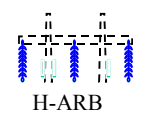
**Empacaduras**



**A - Ancoragem**



**S - Suspensão**

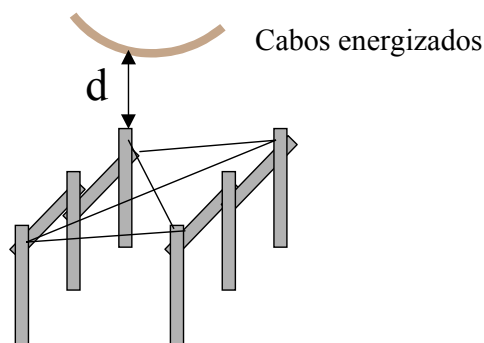


**Cabo grosbeak**



- Operação de instalação de proteções nas travessias, preservando as distâncias de segurança e especificações de montagem

**PROTEÇÕES DE TRAVESSIAS**



Como exemplo mostramos a seguir as travessias do trecho PAF/BNO

*Tabela 2.5 -Travessias no trecho : PAF/BNO - Circuito C2*

VÃO	DESCRIÇÃO
<b>Pórtico e 0/1</b>	Travessia sobre LT 69Kv
0/1 e 0/2	Travessia sobre LT 400Kv
0/2 e 1/1	Travessia sobre LT 230Kv
5/2 e 5/3	Travessia sobre Estrada Estadual
7/1 e 7/2	Travessia sobre Rodovia BR 116
12/2 e 12/3	Travessia sobre Estrada Municipal
13/2 e 14/1	Travessia sobre o Rio Moxotó

15/2 e 15/3	Travessia sobre Estrada Municipal
26/2 e 26/3	Travessia sobre Estrada Municipal
32/2 e 33/1	Travessia sobre Estrada Municipal
34/1 e 34/2	Travessia sobre Estrada Municipal
35/1 e 35/2	Travessia sobre LT 13.0Kv
49/4 e 50/1	Travessia sobre Rodovia BR 101
51/1 e 51/2	Travessia sobre LT 13.0Kv (CELPE)
139/3 e 140/1	Travessia sobre Estrada Municipal
142/2 e 142/3	Travessia sobre Estrada Municipal
144/1 e 144/2	Travessia sobre Estrada Municipal
145/2 e 145/3	Travessia sobre Estrada Municipal

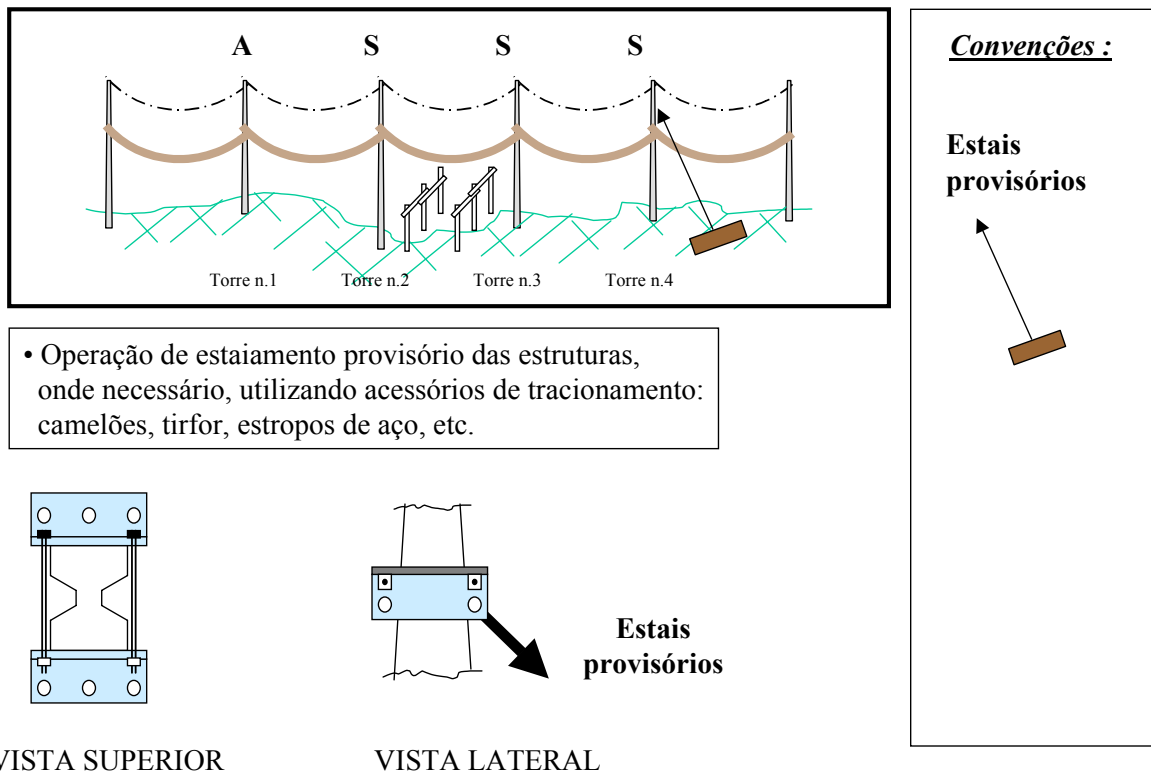
**Tabela 2.6 - Travessias no trecho : PAF/BNO – Circuito C3**

<b>VÃO</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
5/3 e 5/4	Travessia sobre LT 69Kv e Estrada Estadual
7/2 e 7/3	Travessia sobre Rodovia BR 116
10/4 e 11/1	Travessia sobre LT 13.0Kv
12/2 e 12/3	Travessia sobre Estrada Municipal
15/3 e 15/4	Travessia sobre Estrada Municipal
26/3 e 26/4	Travessia sobre Estrada Municipal
33/1 e 33/2	Travessia sobre Estrada Municipal
34/1 e 34/2	Travessia sobre Estrada Municipal
35/1 e 35/2	Travessia sobre LT 13.0Kv
50/1 e 50/2	Travessia sobre Rodovia Federal
51/1 e 51/2	Travessia sobre LT 13.0Kv (CELPE)
95/4 e 96/1	Travessia sobre LT 13.0Kv
139/3 e 140/1	Travessia sobre Estrada Municipal
142/2 e 142/3	Travessia sobre Estrada Municipal
144/2 e 133/3	Travessia sobre Estrada Municipal
155/2 e 155/3	Travessia sobre Estrada Municipal

### **2.3.2 Instalação de Estais Provisórios**

Operação planejada para ser efetuada com linha energizada

Nesta recapacitação é acrescentado um novo cabo (Linnet) com 0,689 kg/m as estruturas existentes. Durante o projeto de recapacitação, todos os vãos são simulados para verificar a suportabilidade das estruturas com respeito à nova carga que será acrescentada. Desta forma, são definidas as estruturas que necessitam de um reforço de fundações, recuperação do concreto nos postes danificados, substituição de perfis, chapas ou parafusos nas torres metálicas e também estaiamento provisório que garanta durante o lançamento do cabo auxiliar Linnet a suportabilidade da linha. O estai, representa um cabo de aço que é fixado no solo e fixado na estrutura no local definido pelo projeto de forma que permita uma suportabilidade adicional que não foi definida no projeto original da LT. Na operação de estaiamento provisório das estruturas, são utilizados acessórios de tracionamento como camelões, tirfor, estropos de aço etc. A operação com estes acessórios de tracionamento deve ser feita com bastante cuidado, pois o rompimento de um destes acessórios poderá causar até a queda da estrutura.



São instalados estais provisórios nas estruturas H-ARB e H-ALS, nas condições de fim de tramo, conforme indicado no plano de lançamento.

As inclinações mínimas recomendadas para o estaiamento, são as seguintes

- Estaiamento dos postes – 1:1

- Vigas das estruturas H-ARB e H-ALS – 1:4

O ponto de ancoragem superior poderá ser feito nas braçadeiras de ancoragem das cadeias Linnet, desde que não prejudiquem a continuidade do lançamento.

O ponto de pega inferior poderá ser feito com toros de madeira ou concreto.

O uso da nata de cimento nas braçadeiras dos postes poderá ser opcional, desde que a superfície dos mesmos não apresente desníveis ou irregularidades superficiais.

Os materiais recomendados para o assentamento dos postes são produtos a base de epóxi como : adesivo estrutural VEDACIT (compound adesivo epóxi) e concreto estrutural com acelerador de peso VEDACIT Rápido CL – traço 1:1.

Posição de instalação das braçadeiras :

- Estrutura H-ARB – 1,20m acima do grampo de suspensão do condutor Grosbeak.
- Estruturas H-ALS – 10cm abaixo do anel e acima do grampo de ancoragem.
- Cruzetas H-ARB e H-ALS – instalação na fase central, alternando o lado de um tramo para o outro seguinte, a uma distancia mínima que não prejudique a instalação do sistema de aterramento (aproximadamente 20cm).

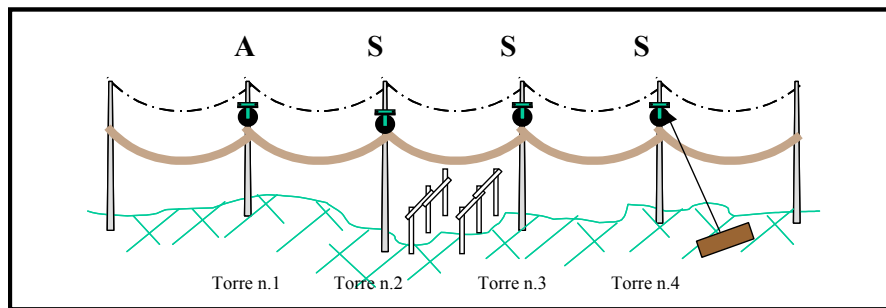
Nas estruturas tipo H-AL, são instaladas vigas metálicas, a uma distancia ideal de 2,80m abaixo do topo dos postes, podendo variar entre 2,20m e 2,90m, considerando-se o nível de fixação das cadeias de Linnet.

### **2.3.3 Instalação de Roldanas com Aterramento Deslizante**

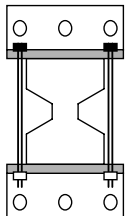
#### **Operação planejada para ser efetuada com linha energizada**

As roldanas, são dispositivos deslizantes que são instalados nas estruturas entre o cabo pára-raios e o condutor Grosbeak através de braçadeiras especialmente confeccionadas

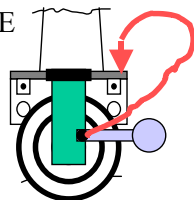
conforme projeto, variando com o tipo de estrutura, que permitirá o deslizamento do cabo piloto e do condutor auxiliar tipo Linnet que será lançado em seguida. Estas roldanas ou bandolas, possuem um sistema de aterramento deslizante formado por um rabicho que é conectado ao sistema geral de aterramento, no caso de postes. As roldanas são instaladas manualmente, içadas através de moitões, em todas as estruturas do tramo que será lançado o cabo auxiliar Linnet. O aterramento é o ponto crítico desta operação. Um aterramento mal consolidado, poderá acarretar curto circuito na linha levando ao desligamento acidental da mesma.



Operação de instalação das roldanas com aterramento deslizante, conectando nas braçadeiras e ao sistema de geral de aterramento, no caso de postes.



DETALHE



BRAÇADEIRA DE FIXAÇÃO  
DAS ROLDANAS

**Convenções :**

**Roldanas com  
aterramento  
deslizante**



**Cabos  
para-raios**



**Rabicho de  
aterramento**



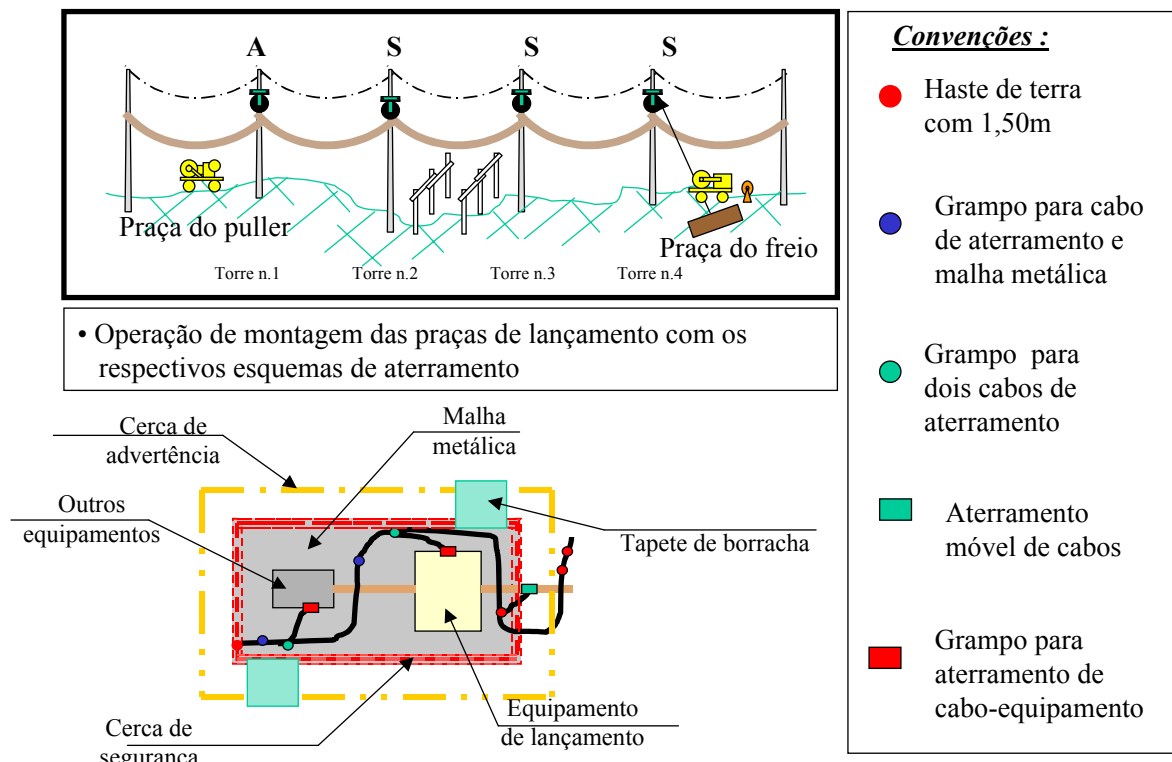
Nas fases centrais será utilizado um conjunto adicional de braçadeiras, de modo a manter o lançamento sempre de um lado do condutor central.

### 2.3.4 Preparação das Praças de Lançamento

**Operação planejada para ser efetuada com linha energizada**

As praças de lançamento são preparadas numa ponta do tramo chamada praça do puller e na outra ponta chamada de praça do freio. Entre uma praça e outra estão todas as estruturas

com as roldanas já instaladas e os estais provisórios necessários devidamente instalados. A praça de lançamento, consiste em uma área desmatada onde são instaladas as máquinas de puller e na outra ponta o freio, além das bobinas e cavaletes dos cabos pilotos e Linnet. No local onde ficarão as máquinas de puller e freio, um sistema especial de aterramento baseado no Manual Técnico da diretoria de projetos e construções da CEMIG – Medidas de segurança a serem adotadas durante a construção de linhas de transmissão paralelas a outras linhas de 500Kv energizadas – 02.118 COPDEN 0234 [12], é construído. O aterramento é o ponto crítico desta operação. Um aterramento deficiente poderá acarretar a morte das pessoas que estiveram na praça, além de incêndio na vegetação circunvizinha.



A colocação de porta-bobinas, freios e tensionadores, além das distâncias mínimas especificadas para a estrutura adjacente, deverão conservar distâncias e alturas seguras para todas as instalações de terceiros, principalmente estradas, LT e LD, incluindo-se aí ancoragem e aterramentos. Todas as ancoragens devem ser dimensionadas para o dobro da maior carga estática prevista em projeto. Seus aterramentos deverão ter uma resistência máxima de 50 ohms e prover tensões de passo e toque inferiores aos de norma e recomendações da CHESF. Os dinamômetros incorporados aos conjuntos mecanizados deverão ser conferidos com o padrão aferido em cada nova instalação. Os aterramentos de piloto e condutor deverão ser do tipo móvel e ligados à malha do próprio equipamento. As roldanas de lançamento deverão ter

dimensões adequadas ao CAA Linnet , ser revestidas de neoprene isolante e dotadas de aterramento auto-ajustável; estes deverão ser diretamente ligados ao sistema de aterramento da estrutura

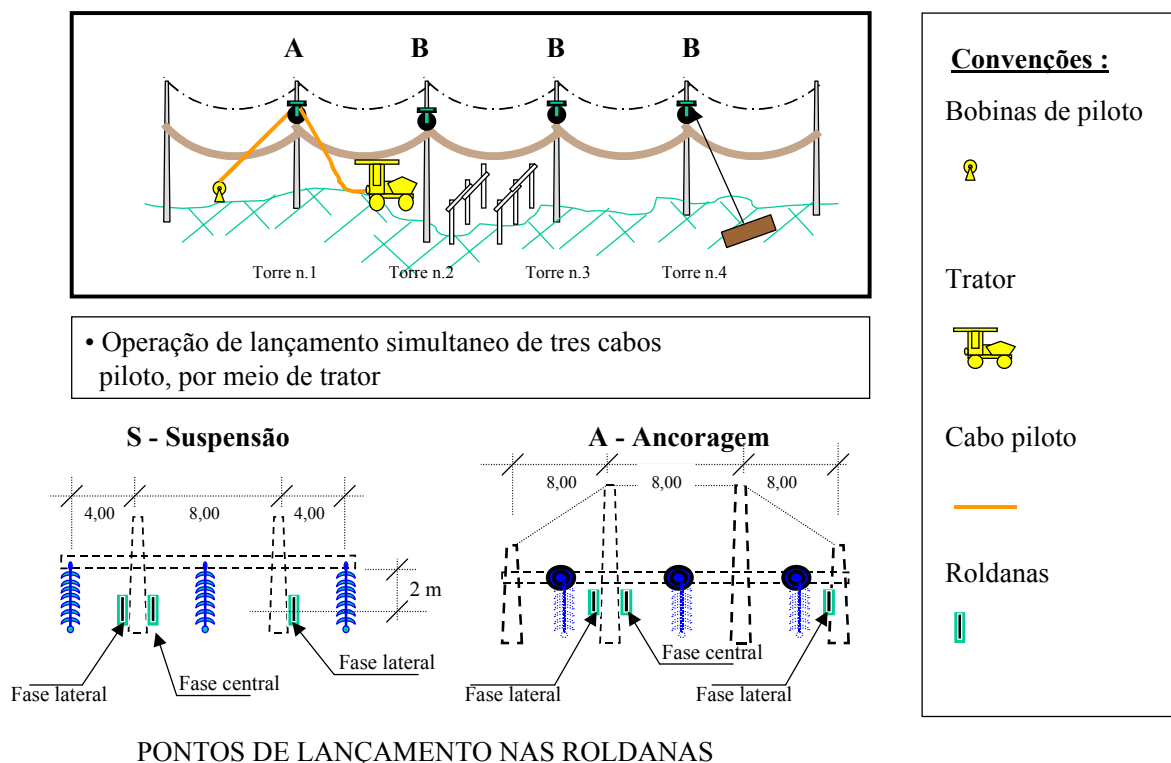
### **2.3.5 Lançamento do Cabo Piloto**

#### **Operação planejada para ser efetuada com linha energizada**

O cabo piloto representa um cabo guia de bitola inferior, neste caso, um cabo de 3/8 , que é lançado através de uma arraia com três cabos simultaneamente puxados por um trator. Operadores posicionados no topo da estrutura recebem a arraia içada através de moitões com



os três cabos pilotos conectados através de distorcedores que são passados manualmente pela primeira bandola, descidos até o solo e engatados em um trator que irá arrastar até a próxima estrutura, quando a operação será repetida até a última do tramo considerado, e então será conectado ao freio depois da última roldana. Esta operação é efetuada com a linha energizada. O deslocamento deste cabo piloto ao longo do tramo, não deve balançar fora dos limites de tolerância para não permitir o curto circuito da linha já que as bandolas e o cabo piloto, estão aterrados. Durante o processo de puxada do trator, várias pessoas acompanham o cabo piloto para que este não se enganche na vegetação em baixo da linha, o que poderá acarretar morte em caso de curto circuito do cabo com a linha energizada, além de risco de incêndio na vegetação. Outro ponto fundamental é a inspeção constante dos distorcedores que prendem os cabos pilotos a arraia, pois se estes distorcedores travarem, o cabo piloto poderá se romper, causando um curto circuito com a linha energizada.



O piloto pode ser instalado simultaneamente nas três fases, porém o puxamento do condutor auxiliar devera ser feito fase a fase.

As roldanas deverão ser suspensas das próprias cantoneiras ou ferragens da futura fixação de ancoragem nas fases dos postes e conforme silhueta, garantindo-se a direção fixa dos seus eixos. Todas as estruturas de início e fim de tramo posterior ao freio e anterior ao

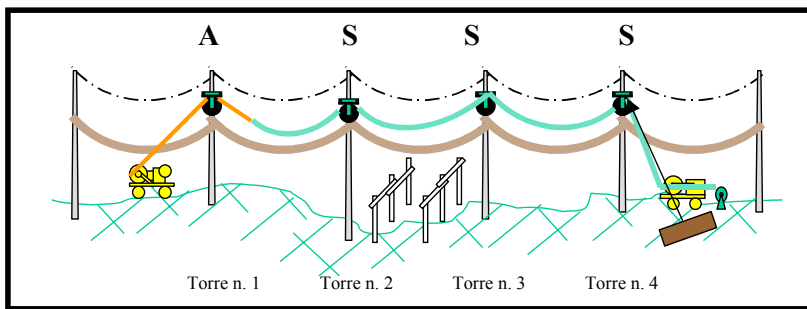
tracionador deverão contar com estais longitudinais fixados na mesma ferragem que a roldana e admitindo-se estais provisórios mecanicamente confiáveis.

À distância entre as máquinas e as estruturas, principalmente as de aço, não pode ser inferior a quatro vezes o desnível para o ponto de instalação da roldana. Devido à aproximação do cabo subindo na roldana da primeira estrutura e o vão já instalado a ré, a LT devera estar ligada, só podendo ser devolvida após fixar a ponta do Linnet nessa primeira estrutura (já sem descida para ré) e após a aproximação da flecha no nivelamento preliminar do tramo em questão.

### **2.3.6 Lançamento do Cabo Auxiliar Linnet**

#### **Operação planejada para ser efetuada com linha energizada**

Uma vez que o cabo piloto foi lançado ao longo de todo o tramo considerado, a sua extremidade inicial é conectada ao puller e sua extremidade final é conectada a bobina do cabo auxiliar Linnet que é conectada ao freio. Daí inicia-se o processo de lançamento automático do cabo auxiliar Linnet. O ponto crítico desta operação é a manutenção da tração adequada do cabo. Nesta operação, são utilizados os seguintes equipamentos principais: rebobinador, cavaletes porta-bobinas, esticadores come-along, roldanas, luvas giratórias, camisas tipo elásticas, bicicletas e jogo de chaves.



- Operação de lançamento do cabo Linnet auxiliar, fase a fase sob tração adequada

#### PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS :

Guincho ou puller  
 Freio ou tensionador  
 Rebobinador  
 Cavaletes porta-bobinas  
 Esticadores come-along  
 Roldanas  
 Luvas giratórias  
 Camisas tipo elástica  
 Bicletas  
 Jogo de chaves

#### Convenções :

Cabo Linnet



Puller



Freio



Bobinas de Linnet



**A ordem de lançamento preferencial e o seguinte:  
 1º fase central; 2º fase lateral esquerda ou direita; 3º  
 fase lateral direita ou esquerda.**

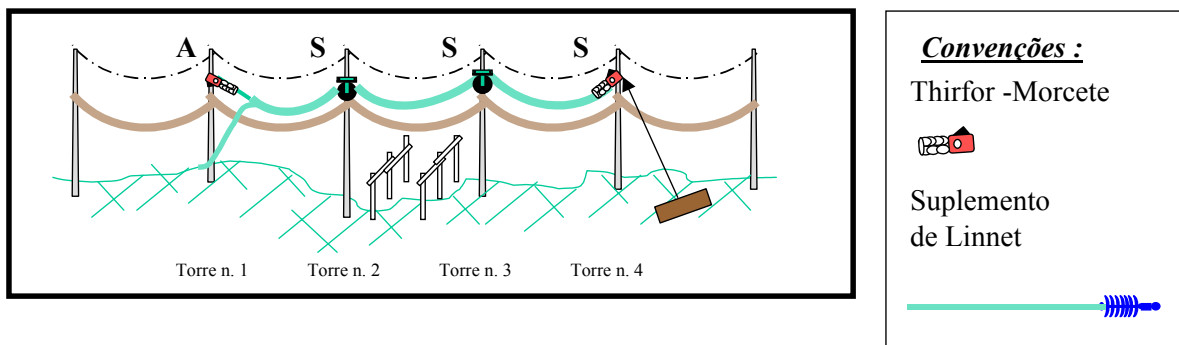
### **2.3.7 Encabeçamento de uma Extremidade do Tramo sem Fechamento de Pulos**

**Operação planejada para ser efetuada com linha energizada**

O encabeçamento é feito manualmente com o instalador posicionado no alto da estrutura inicial do tramo. A operação de encabeçamento é feita seguindo a seguinte sequência: Instalação do preformado de ancoragem na ponta do suplemento de Linnet a 30m de distância da torre; instalação de morcetes com tirfor nas braçadeiras junto à roldana de

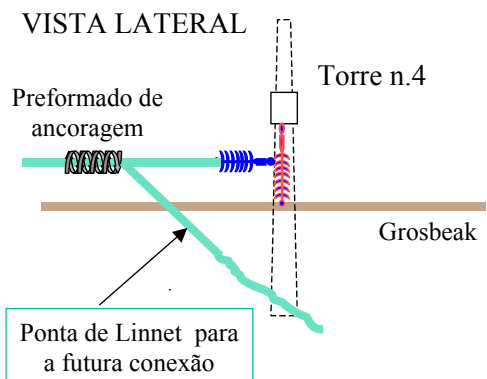
lançamento; transferência da tração para o suplemento, liberando a extremidade do Linnet para a futura conexão e amarração da ponta livre do Linnet para evitar acidente em caso de devolução da linha. Nesta operação, é preciso ter cuidado com a ponta do Linnet que fica para futura conexão.

Uma das extremidades do tramo de lançamento é encabeçada em definitivo, por meio de cadeia de ancoragem, ficando a outra extremidade livre para os serviços de nivelamento.



Operações de:

- Instalação do preformado de ancoragem na ponta do suplemento de Linnet a 30 m de distancia da torre
- Instalação de morcetes com tirfor nas braçadeiras junto à roldana de lançamento
- Transferencia da tração para o suplemento liberando a extremidade do Linnet para a futura conexão
- Amarração da ponta livre do Linnet para evitar acidente em caso de devolução da linha

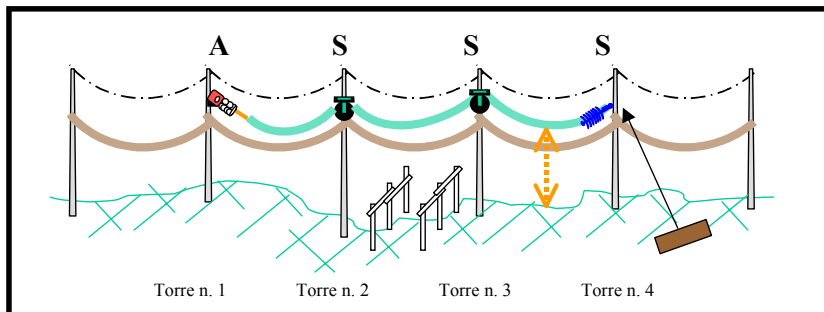


**2.3.8 Nivelamento do Cabo Auxiliar Linnet**

Operação planejada para ser efetuada com linha energizada

**É uma operação de tracionamento do cabo auxiliar Linnet para que seja feito o nivelamento em**

relação ao cabo Grosbeak, de formas que sejam mantidas as distâncias de segurança. Como o cabo está nas roldanas, deve ser observada a condição final de creep, marcando os pontos de grampeamento futuro. Como se trata de uma operação de tracionamento, a possibilidade de ruptura tanto do cabo quanto dos acessórios de tracionamento utilizados devem ser consideradas.




• Operação de tracionamento e nivelamento, com os cabos nas roldanas, na condição final de creep, marcando os pontos de grampeamento futuro

**Convenções :**



Cadeia de ancoragem



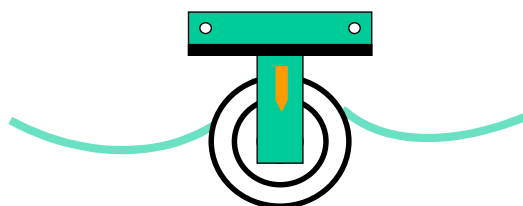
Marcação do grampeamento



Condição final de creep

MARCAÇÃO DO  
GRAMPEAMENTO



### Grampeamento

Deverão ser instalados morcetes ou come alongs a aproximadamente 35m das roldanas em cada lado da estrutura para aliviar a tração, retirar o offset e facilitar as manobras abaixo detalhadas, tracionando-se com thyrfors ou catracas para mais de 300Kn, de ambos os

lados de todas as estruturas. Entre ela e cada morcete será fixada sobre o Linnet um conjunto de varetas preformadas de ancoragem, que ligará o Linnet do vão a ponta de ponta de cabo inserida para a amarração no isolador. Estas pontas, provenientes de sobras recuperadas nos tramos anteriores e em perfeito estado superficial, ligarão o conjunto de varetas à cadeia de ancoragem. A tração nesta ponta, ajustada pelo tensor, deverá estar visualmente igual à parcela de Linnet folgada e ainda apoiada na roldana. Prolongadores fixos poderão ser acrescentados então ou posteriormente para correções desta ancoragem. A extremidade da ponta junto ao isolador deve ser cortada e rejuntada dentro da alça pré-formada de ancoragem, sem qualquer tento externamente visível.

Na fase central a ponta deverá ser cortada com 50 cm a maior que o necessário para este emparelhamento, de forma a facilitar o ajuste de comprimento quando se transferir o conjunto de ancoragem, então fixado na fase interna de um poste ou canto da janela da torre para sobre o Grosbeak central, na ocasião da conexão a este. Depois de executados todos os grampeamentos do tramo e conferidas as flechas do Linnet, em todos os vãos, o tramo estará disponível para a executar as conexões. Até então o Linnet deverá permanecer aterrado, recomendando-se que os vão acima de 500 m não permaneçam mais de oito dias nessa situação por risco de balanço assíncrono sobre as fases laterais. Se ocorrer, por estrita necessidade operacional, em clima/estação sujeitos a ventos fortes, o conjunto de ancoragem deverá ser provisoriamente baixado até 4 m sob as fases laterais provendo-se cavaletes forrados em travessias de estradas em pontos críticos. Não será aceito este rebaixamento em travessias de LT.

Durante esses rebaixamentos em torres de aço, cuidados especiais devem ser tomados para que os cabos Linnet contínuos não entrem em contato com os elementos da torre.

A conferência das flechas de Grosbeak e Linnet deverão ser feitas em todas as fases de todos os vãos, ajustando-se o Linnet que não se apresentar nas tolerâncias especificadas em projeto (mais ou menos 0,1 m), depois que for confirmado este valor não aceito. A conferência topográfica deve ser feita necessariamente através de visada deslocada do meio do vão de 40 m no sentido do terreno mais alto. Vãos muito altos em grotas fundas poderão ser conferidos por visadas niveladas (90 graus do azimute) transferidas da torre mais favorável encosta abaixo. Não serão aceitas leituras de flechas por cálculo a partir de visadas inclinadas tangenciais. Para estas medições, exige-se distanciômetro eletrônico com memória informatizada.

Após o nivelamento, o Linnet deverá ser ancorado provisoriamente na última estrutura do tramo, deixando-se a ponta com cerca de 5m para ajustes durante o grampeamento, rebobinando-se cuidadosamente as sobras do lado do freio e do tracionador para aproveitamento na ancoragem definitiva.

### **2.3.9 Instalação de Cadeias Intermediárias e Suplemento de Linnet**

#### **Operação planejada para ser efetuada com linha energizada**

Com o cabo Linnet nivelado com o cabo Grosbeak, procede-se à instalação de cadeias intermediárias. O cabo Linnet será tracionado através dos tirfor como mostra a figura para a torre n.3. Para que se possa retirar os tirfor, torna-se necessário à ancoragem do cabo Linnet na torre n.3 através de cadeias de isoladores intermediárias. Estas cadeias são instaladas com um pedaço de cabo Linnet em cada ponta chamado de suplemento. Instalando-se preformados de ancoragem em cada ponta do cabo Linnet a 30 cm de distancia do local da torre onde será ancorada a cadeia de isolador, procede-se à emenda destes com o cabo Linnet inteiro. Com os suplementos devidamente instalados com as cadeias de isoladores em cada lado da torre, e os suplementos de cabo Linnet, emendados em cada lado do cabo Linnet inteiro, instalam-se morcetes com tirfor nas braçadeiras junto à roldana de lançamento. Estes tirfor, tracionarão o cabo Linnet transferindo a tração para o suplemento, liberando o colo do Linnet para futura conexão com o cabo Grosbeak. Desta forma a tração que estava no colo do cabo Linnet passa agora para os suplementos e suas cadeias de isoladores intermediárias, e o colo do cabo Linnet, fica sem tração e semelhante a um pulo de continuidade.

No sentido de se garantir a segurança da instalação, deve-se amarrar o colo do cabo Linnet, para se evitar conexão indevida com o cabo Grosbeak que se encontra energizado. Os casos de vento e provável devolução da linha podem provocar acidentes com o colo do cabo Linnet solto.

Haverá dois tipos de cadeias : 50KA nos primeiros 15 Km da SE PAF; 20KA nas demais cadeias da linha PAF/BNO.

Serão aplicados tensores em uma das extremidades dos vãos iguais ou inferiores a 300m.

Serão aplicados extensões reguláveis em uma das extremidades dos vãos iguais ou inferiores a 300m em ambos os lados dos vãos maiores que 300m.

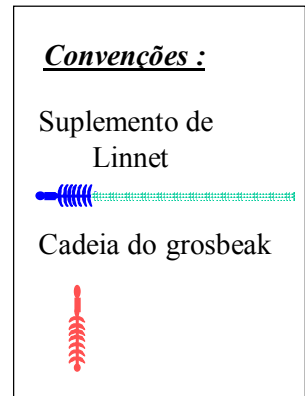
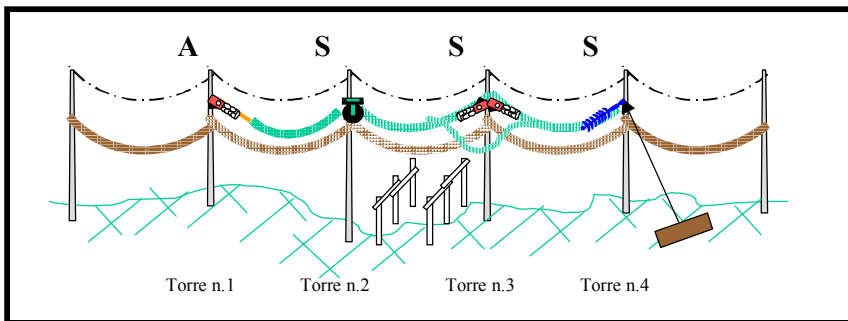
Os tensores serão instalados no seu comprimento máximo e as extensões reguláveis no seu ponto médio.

Para execução das transposições em cadeia, deverão ser substituídos todos os materiais existentes para melhor confiabilidade e facilidade de instalação do Balancim Expandido.

Deve-se preparar um suplemento para enxerto do cabo Linnet. Este pedaço de cabo suplementar será aplicado nos jumpers esticados, e deverá ser preparado no próprio local de aplicação, marcando 7 pontos fundamentais:

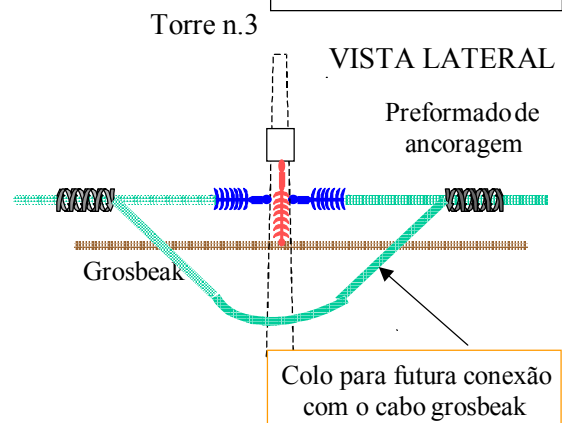
- **Px-ré** – Ponto de saída do enxerto no pré-formado de amarro Linnet-Linnet, vão de ré, para a formação da raquete-antena;
- **P3-ré** – Ponto de aplicação (início) do pré-formado de amarro Linnet-Linnet, do suplemento com o cabo lançado, no vão de ré;
- **P2-ré** – Ponto de aplicação da alça de ancoragem, com o suplemento de Linnet, na saída da cadeia de ancoragem, vão de ré;
- **P1-ré** – Ponto de aplicação do conector Linnet-Linnet, para a formação do jumper esticado vão de ré;
- **P0-ré** – Ponto de prumo ou metade do cabo suplementar;
- **P1-vante** – Ponto de aplicação do conector Linnet-Linnet, para a formação do jumper esticado, no vão de frente;
- **P2-vante** – Ponto de aplicação da alça de ancoragem, com o suplemento de Linnet, na saída da cadeia de ancoragem, vão de frente;
- **P3-vante** – Ponto de aplicação (início) do pré-formado de amarro Linnet-Linnet, do suplemento com o cabo lançado, vão de frente;
- **Px-vante** – Ponto de saída do enxerto no pré-formado de amarro Linnet-Linnet, vão de frente, para a formação da raquete-Antena;





Operações de :

- Instalação do preformado de ancoragem na ponta do suplemento de Linnet a 30 m de distância da torre
- Instalação de morcetes com tirfor nas braçadeiras junto à roldana de lançamento
- Transferencia da tração para o suplemento liberando o colo do Linnet para a futura conexão
- Amarração do colo livre do Linnet para evitar acidente em caso de devolução da linha ( se necessário )



### **2.3.10 Aterramento do Tramo de Trabalho**

#### Operação efetuada com a linha desenergizada

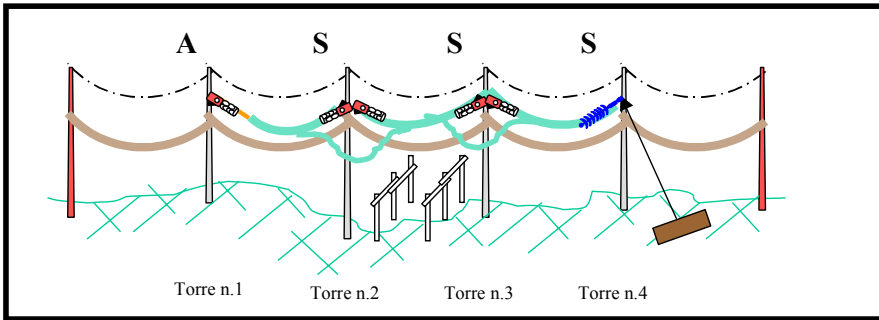
Nesta etapa começa o trabalho de conexão do cabo Linnet com o cabo Grosbeak, e será feito com a linha desenergizada.

O procedimento inicial é o recebimento da linha por parte da equipe de trabalho após o despacho de carga confirmar a sua desenergização. O procedimento de entrega da linha segue uma rotina normatizada e segura, garantindo assim que no aterramento não ocorram acidentes.

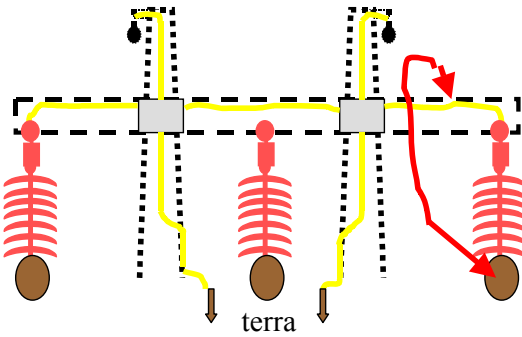
Para efeito de segurança e tendo em vista a presença em quase todo o corredor da linha de linhas paralelas energizadas, o efeito da indução é suficiente para se acidentar os trabalhadores gravemente, procede-se o aterramento do tramo de trabalho.

O aterramento deverá ser efetuado nas torres adjacentes no tramo de trabalho, garantindo assim a proteção do tramo de trabalho. Assim deve-se aterrar a estrutura imediatamente anterior e a imediatamente posterior.

Após o aterramento das estruturas vante e ré, no tramo, procede-se o aterramento da linha, aterrando-se os cabos Grosbeak nas três fases e os cabos Linnet também nas três fases. Garante-se assim que uma indução não afetará os trabalhos e um religamento acidental da linha não venha a afetar os trabalhadores no tramo considerado.



• Operação de recebimento da linha e aterramento do tramo de rabalho conforme divisão de trechos estabelecidos no plano de lançamento



**Convenções :**

Estrutura com aterramento



Aterramento da linha

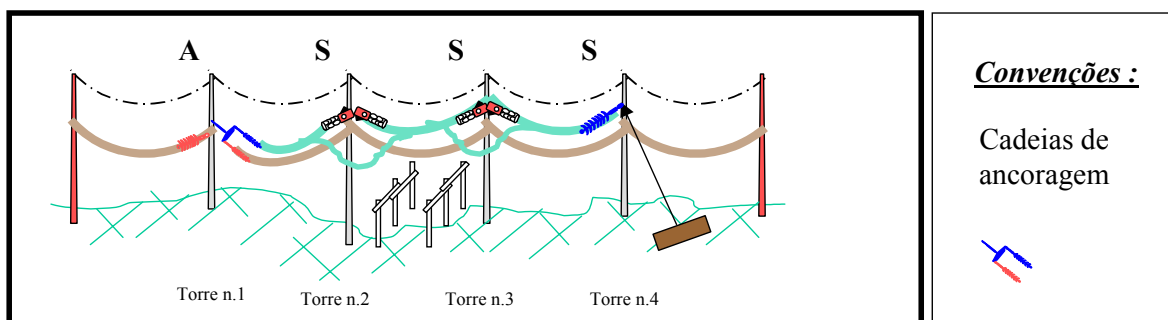


### 2.3.11 Encabeçamento definitivo da outra Extremidade do Tramo com Fechamento de Pulos

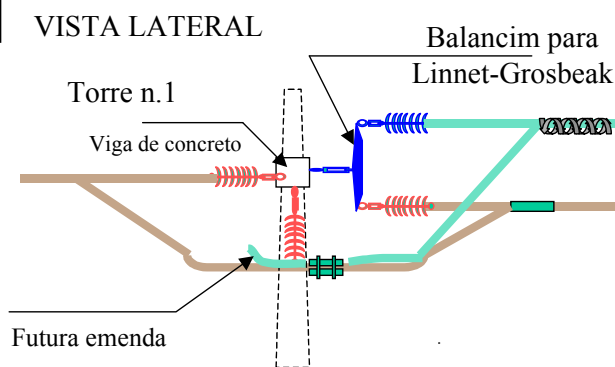
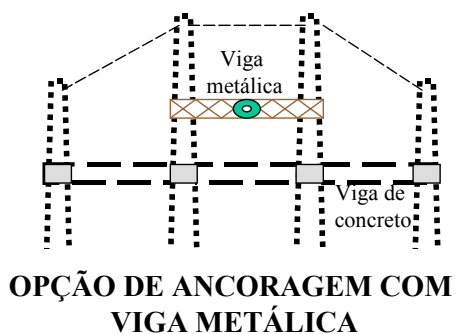
Operação efetuada com a linha desenergizada

A torre n.1 é uma estrutura de ancoragem e define o início do tramo de trabalho. Como nestas estruturas de ancoragem o cabo Grosbeak fica ancorado a estrutura através da cadeia de isoladores e não grampeado como ocorre nas estruturas de suspensão, é necessário à introdução de um balancim para a cadeia de ancoragem Linnet-Grosbeak. Após a instalação da cadeia de ancoragem com o balancim para Linnet-Grosbeak, na estrutura, conecta-se a ponta do cabo Linnet ao pulo de continuidade do cabo Grosbeak, através do conector apropriado, tendo o cuidado de deixar um pedaço sobrando para futura emenda quando se passarem os trabalhos para o próximo tramo.

Da mesma forma, por questões de segurança, este pedaço de Linnet, que será emendado e servirá de continuidade do trabalhos nos próximos tramos, deverá ser amarrado para que não possa causar desligamento acidental, quando da devolução da linha.



• Operação de encabeçamento posterior no caso das estruturas de ancoragem



Todo jumper em extremidade de tramo será do tipo folgado, deixando uma sobra de aproximadamente 5,00m para a continuidade do tramo seguinte.

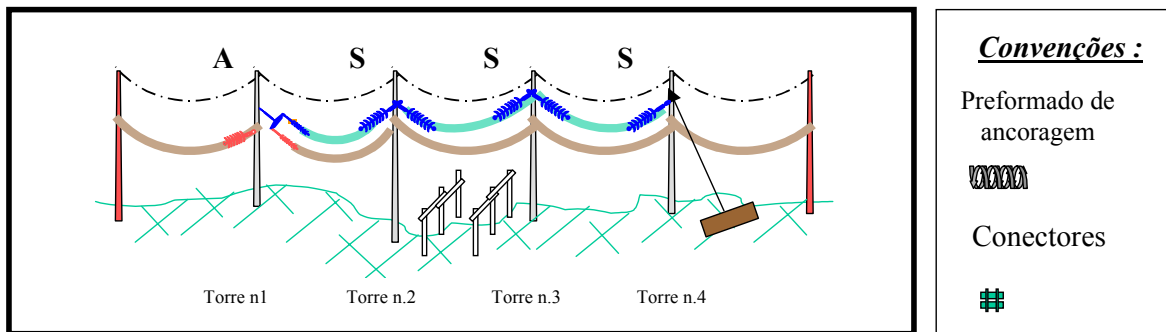
O jumper folgado será ancorado e conectado por meio de pré-formados e conectores tipo cunha.

### **2.3.12 Instalação Pulos Conexão Linnet-Grosbeak nas Fases Laterais: Operação**

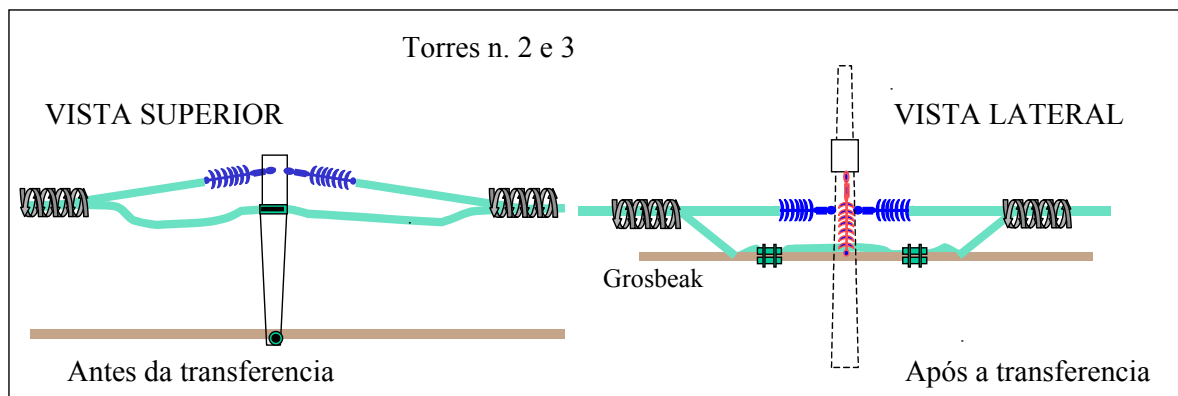
Operação efetuada com a linha desenergizada

Nas estruturas de suspensão, a interligação do cabo Linnet ao Grosbeak, seguirá formas diferentes para as fases laterais e para a fase central.

Para as fases laterais, o procedimento será de se interligar, através de conectores apropriados, o colo do cabo Linnet que está suspenso, nos dois lados do grampeamento do cabo Grosbeak, na cadeia de suspensão.



• Operação de fechamento dos pulos de conexão Linnet-Grosbeak nas torres intermediárias



Há dois tipos de conexões Linnet/Grosbeak para a formação dos jumpers:

- Jumper folgado – nas estruturas H-AP, H-APV, H-AGB, H-ALS e suspensões em fim de tramo;
- Jumper esticado – nas demais estruturas de suspensão e no meio de tramo.

Os jumpers serão amarrados com pré-formados e conectores com dispositivos de cunha. A parte maior da cunha deve ficar voltada para o centro da torre;

Os procedimentos de lançamento sob tração, nivelamento e grampeamento do “jumper folgado”, devem ser cuidadosamente executados pelos requisitos específicos do projeto.

No caso de jumper esticado, marcar no cabo lançado, o ponto de aplicação da alça de ancoragem da cadeia Linnet, conforme tabela (método topográfico).

Em seguida, instalar o enxerto do cabo Linnet auxiliar conectando os pontos P3-Ré e P3- vante. Os pontos de instalação da alça preformada Linnet-Linnet prevêem uma sobra de 1,96m de cabo para a formação da raquete-antena.

Tracionar o morcete para montar a cadeia do cabo Linnet auxiliar, aplicando a alça preformada de ancoragem e liberando as roldanas.

Puxar o jumper esticado do cabo Linnet levando para junto de Grosbeak e instalar os demais conectores e pré-formados do jumper.

Instalar o conector Linnet-Linnet nos pontos de sobra de 1,5m, formando a raquete antenna.

Instalar os amortecedores avante e a ré de cada pré-formado de amarro ou ancoragem do Linnet.

Eventualmente poderá ser introduzido um jumper folgado nas estruturas de suspensão no meio de um tramo, por necessidade do próprio serviço.

Os “jumper folgado” devem ser feitos, além das estruturas acima citadas e das ancoragens para fim de tramo do lançamento, também nas demais indicadas na planilha de execução de “Jumper Esticado” da Fase Central com anotação NSA, por motivo de equilíbrio do feixe. As fases laterais, preliminarmente nos 10km iniciais de cada LT, serão em “jumper esticado”, exceto nas estruturas definidas no projeto , para avaliação da geometria obtida.

Após a conferência de flechas e trações do tramo, recomenda-se a marcação do ponto de apoio do Linnet na roldana e a partir daí, a posição exata da aplicação da ancoragem preformada. As distâncias entre estes pontos a vante e à ré para cada fase, devem computar o tamanho exato das cantoneiras e ferragens usadas, considerando-se os tensores á vante (vão menor que 300m) e extensões reguláveis a ré, com passo inicial de 62cm. Para conservação da tração de nivelamento, deve-se abrir a mais, as extensões para facilidade de engate. Em seguida, com uso de “tyrfort” voltar á posição inicial menos o creep indicado na décima e na última coluna das citadas planilhas de “jumper esticado”

Somente após os procedimentos anteriores deve ser cortado o sub-vão de Linnet próximo à roldana, utilizando-se pedaço de sobra de lançamento com tamanho adequado (padronizado preliminarmente para os tramos nos 10km iniciais em 7m na fase central e 13m nas laterais), para complementação do jumper folgado conforme projeto.

**Não é aceito o procedimento de voltar o Linnet após o nivelamento para folgar o comprimento**

**necessário ao jumper continuo, devido aos riscos e desregulagem de tração decorrentes. Entretanto, após a retirada do creep às flechas e/ou trações nos vãos equivalentes, de maior extensão e de travessias do tramo deverão ser conferidas, contando-se com tensores e/ou extensões para as correções que se comprovem necessárias.**

No caso de fim de tramo, havendo folgas de Linnet suficientes, ao invés do acréscimo de nova peça (safena), poderão ser feitas conexões do tipo trespassadas.

A instalação de amortecedores deve seguir as instruções específicas e nos vãos acima de 500 metros serão instalados os espaçadores.

Os parâmetros de aceitação dos feixes obtidos, em principio deve atender o seguinte:

- Flecha do Linnet sempre menor que a do Grosbeak, em função da / retirada do “creep”, porém nunca menor que 85% desta.
- Separação vertical entre Linnet e Grosbeak, no meio do vão na fase central igual à média das separações nas fixações das estruturas adjacentes, com tolerância de —0m a +1,5m.
- Separação horizontal entre Linnet e Grosbeak no meio do vão das fases laterais igual à média das separações das fixações das estruturas adjacentes, com tolerância de +/-0,05 .
- Caso a estrutura, adjacente seja de jumper esticado, esta última tolerância passa a +/-0,5m.

Os Jumper Esticado - Fase Lateral devem ser aplicados em todas as estruturas tipo H-ARB. exceto as que forem usadas como ancoragem provisória de fim de tramo. Embora em alguns casos de insuficiência de agravante a cadeia do Grosbeak saia exageradamente do patino, comprometendo a largura do feixe, nos primeiros 10km de instalação, isto será tolerado com a finalidade de confirmar os limites de exclusão do “jumper esticado”.



Preliminarmente nos 10km iniciais, marcar PX a 25,00m dos furos de engate para as cadeias a ré e a vante. As distâncias P0-P1-P2, são fixas de 1,5m e 6,6m,, nestes 10km, podendo ser reavaliadas em função dos resultados. Não foi ajustada a posição de P2 na presença de elo bola com proteção 50KA, compensando-se a mesma diferença pelo aumento de P1-P2 e redução de P2-P3. Em função de variações nas cantoneiras (postes diferentes dos B-1 a B-3 CAVAN) ainda não consideradas, diferenças a maior devem ser acrescentados em P1- P2 e subtraídas de P2-P3.

Usando thyrtort deve ser retirado os creep de ré e vante informados na planilha da fase central, O Linnet nivelado nos vãos adjacentes deve ser solto da roldana e então fixado no Grosbeak (com as alças a 2,70m do grampo do Grosbeak, marca amarela na alça).

Os espaçadores dos vãos grandes, semelhantemente a fase central, devem ser feitos com as mesmas alças utilizadas para amarração, previamente dobradas a 90 graus entre as duas marcas de instalação, sem que ocorra descolamento significativo dos arames. O pedaço de Linnet usado deve ser 0,4m menor que a média das distâncias entre o Linnet e o Grosbeak verificada na conferência nos pontos de instalação das estruturas do início e do fim do vão.

Os parâmetros de aceitação dos feixes obtidos em princípio, deve atender o seguinte:

- Flecha do Linnet sempre menor que a do Grosbeak, em função da retirada do creep, porém nunca menor que 85% desta.
- Separação vertical entre Linnet e Grosbeak, no meio do vão igual à média destas separações nas fixações nos pontos PX adjacentes, com tolerância de -0,0m a +1,5m.
- Caso a estrutura adjacente seja de jumper folgado, esta média passa a ser entre o PX e a distância das fixações do Grosbeak na estrutura adjacente.
- Assim como na fase central, nos 10 km iniciais de cada LT deverão ser medidos com a maior precisão possível os pontos Pl, PX e os cabos Linnet e Grosbeak no meio de todos os vãos, para conferência dos cálculos, ajustes de metodologia e critérios de fiscalização do restante da obra.

Durante o desligamento programado para realizar todas as conexões do tramo, os aterramentos serão retirados progressivamente do Linnet, à medida que for sendo conectado ao Grosbeak, já aterrado no início, meio e final do tramo. Em consequência a LT só poderá ser devolvida quando o Linnet estiver totalmente ao potencial do Grosbeak e com condições de ser energizado. Excepcionalmente se aceita a devolução emergencial da LT com fase

totalmente isolada e o Linnet de outras fases totalmente aterrado. A conexão do Linnet com o Grosbaek será feita em todas torres e fases entre o Linnet contínuo (cabo que passa ao lado das ancoragens) e o Grosbeak existente nas proximidades do grampo. A aproximação dos dois, para vencer a distância de mais de 3 m será possível com uso de catraca ou moitão na extremidade da cadeia existente e tracionando-se o Linnet para próximo do grampo por força nivelada (não puxar para baixo). Será aplicado um conjunto de varetas preformadas de duplo diâmetro entre o Linnet e o Grosbeak, a partir do primeiro amortecedor (stockbridge) no sentido do vão, de cada lado da cadeia. A posição das alças deve observar rigorosamente as marcas de fixação nas varetas sobre o Grosbeak a dois metros do primeiro amortecedor (stockbridge) transferindo-se eventuais amortecedores adicionais para 3m do primeiro; o prumo destes amortecedores devem ser reajustados após a conclusão da conexão. Entre o primeiro amortecedor e extremidade das varetas deve ser instalado conector tipo cunha adequado. A instalação do outro lado do grampo é exatamente simétrica.

O tensor da cadeia de ancoragem do Linnet ou extensões fixas adicionais deverão ser usados para que o grampo de suspensão existente nas fases laterais fique na distância prevista na tabela de projeto em relação ao prumo atual, o que deverá ser ajustado com o uso de gabarito pendente da cruzeta ou mísula. Nas torres de ancoragem será adotado procedimento semelhante.

Na fase central as cadeias de ancoragem estarão presas a peças de aço fixadas provisoriamente na posição de lançamento, o conjunto será então transferido lateralmente até próximo ao prumo da cadeia de suspensão sob a cruzeta. Deverá então ser feita o tracionamento do cabo Linnet contínuo, para baixo por tracionamento vertical pelo lado da cadeia, até posição de conexão semelhante à das fases laterais. Neste caso a cadeia permanecerá em prumo, garantindo-se que não haja “enforcamento”. Caso haja necessidade de confirmação, o grampo de suspensão deverá ser suspenso com 10 kN para cima, sem que haja afrouxamento de qualquer engate da cadeia.

Para garantir o espaçamento de projeto entre o Linnet e o , deverá ser deixada baliza de gabarito pendente do ponto de engate entre o cabo contínuo e a ponta de 30m de Linnet, liberando a tração no tensor do isolador de ancoragem ou com o uso de extensões fixas até que a distância recomendada na tabela do projeto seja alcançada. Após a conferência sem peso de montador no cabo e antes da energização a baliza deverá ser removida. Em cadeias de ancoragem será feita a instalação similar.

Na conexão de final de bobina, o cabo Linnet deverá ser ancorado com varetas preformadas logo após o primeiro amortecedor avante dos grampos de suspensão, passando

por estes. A eventual sobra de cabo deverá ser cortada para aproveitamento posterior conforme já citado; o início da bobina seguinte, a ser conectada oportunamente, deverá ser presa à ré desse mesmo grampo. O processo de conexão difere das cadeias ao longo da bobina em 3 pontos: o Linnet morre no meio do conjunto de amarração ao invés de passar; a montagem das varetas fica com as pontas da espira grande voltadas para o vão e as pontas das espiras menores voltadas para o grampo; e no ponto de cruzamento dos dois Linnet; além dos dois conectores cunha Grosbeak/Linnet será instalado o conector cunha Linnet/Linnet responsável pela continuidade elétrica deste cabo auxiliar.

### **2.3.13 Instalação de Pulos de Conexão Linnet-Grosbeak na Fase Central**

Operação efetuada com a linha desenergizada

Na fase central as cadeias de ancoragem estarão presas a peças de aço fixadas provisoriamente na posição de lançamento, o conjunto será então transferido lateralmente até próximo ao prumo da cadeia de suspensão sob a cruzeta. Deverá então ser feita o tracionamento do cabo Linnet contínuo, para baixo por tracionamento vertical pelo lado da cadeia, até posição de conexão semelhante à das fases laterais. Neste caso a cadeia permanecerá em prumo, garantindo-se que não haja “enforcamento”. Caso haja necessidade de confirmação, o grampo de suspensão deverá ser suspenso com 10 kN para cima, sem que haja afrouxamento de qualquer engate da cadeia.

Para garantir o espaçamento de projeto entre o Linnet e o , deverá ser deixada baliza de gabarito pendente do ponto de engate entre o cabo contínuo e a ponta de 30m de Linnet, liberando a tração no tensor do isolador de ancoragem ou com o uso de extensões fixas até que a distância recomendada na tabela do projeto seja alcançada. Após a conferência sem peso de montador no cabo e antes da energização a baliza deverá ser removida. Em cadeias de ancoragem será feita a instalação similar.

Na conexão de final de bobina, o cabo Linnet deverá ser ancorado com varetas preformadas logo após o primeiro amortecedor avante dos grampos de suspensão, passando por estes. A eventual sobra de cabo deverá ser cortada para aproveitamento posterior conforme já citado; o início da bobina seguinte, a ser conectada oportunamente, deverá ser presa à ré desse mesmo grampo. O processo de conexão difere das cadeias ao longo da bobina em 3 pontos: o Linnet morre no meio do conjunto de amarração ao invés de passar; a montagem das varetas fica com as pontas da espira grande voltadas para o vão e as pontas das espiras menores voltadas para o grampo; e no ponto de cruzamento dos dois Linnet; além dos dois conectores cunha Grosbeak/Linnet será instalado o conector cunha Linnet/Linnet responsável pela continuidade elétrica deste cabo auxiliar.

Jumper Esticado – Fase Central -

Todos os pontos citados no detalhe de marcação deste desenho devem ser medidos e

marcados em canteiro antes da distribuição, identificando-os com fase, número de estrutura e lado ré. Sugerimos bobinar diversos comprimentos não separados, passando de uma a outra bobina, separadas de 30m, suficientemente altas ou com lona no chão, onde as distâncias possam ser medidas com precisão de 0,5cm.

Verificamos nas experiências anteriores e nas análises de sensibilidade feitas nos cálculos, que a precisão de marcação do ponto PX no cabo é muito crítica portanto, é necessário marcar este ponto no Linnet nivelado, sem presença de montador ou qualquer desalinhamento do ponto de apoio na roldana. Sugerimos marca-lo com topografia de precisão e vara telescópica dotada de pincel, apurada sobre o piquete por método usual para baliza topográfica.

Consideramos que, para maior precisão de instalação, a peça de cabo marcada em canteiro devem ser aplicadas no chão às alças de amarração Linnet/Linnet e as cadeias de ancoragem com chapa igual a da cruzeta. A extensão de ré poderá então ser colocada na furação de abertura total para facilitar a montagem da segunda alça sobre PX. Na ocasião da instalação desta podem ser aplicados os amortecedores à 10cm da ponta da mesma (e entre si) e o cunha da ponta da peça de Linnet sobre o cabo nivelado.

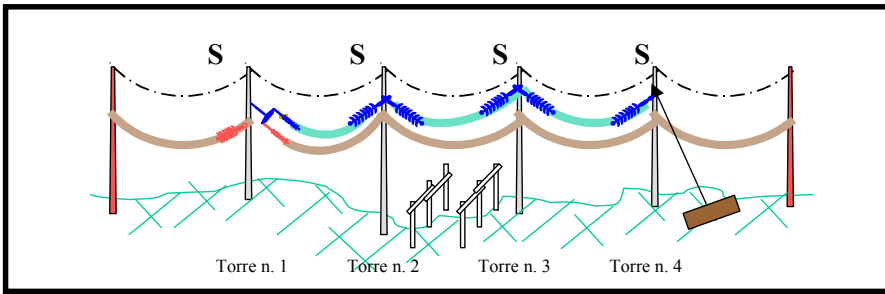
Usando thyrfort deve ser retirado o creep de ré e vante informados na planilha. O creep poderá ser retirado durante a montagem das cadeias no solo. O Linnet já nivelado nos vãos adjacentes deve ser solto da roldana e então conectado no Grosbeak com as cunhas.

As cunhas do item 5 devem ser instaladas na marca P1, catre o Linnet retirado da roldana e o novo jumper confirmando-se que estes “não retirem o peso de Grosbeak da sua cadeia”.

Os espaçadores da nota 2 do desenho devem ser feitos com as mesmas alças utilizadas para amarração, previamente dobradas a 90 graus entre as duas marcas de instalação, sem que ocorra descolamento significativo dos arames. O pedaço de Linnet usado deve ser 0,4m menor que a distância média entre o Grosbeak e o Linnet verificada nos pontos de amarração durante as conferências do vão.

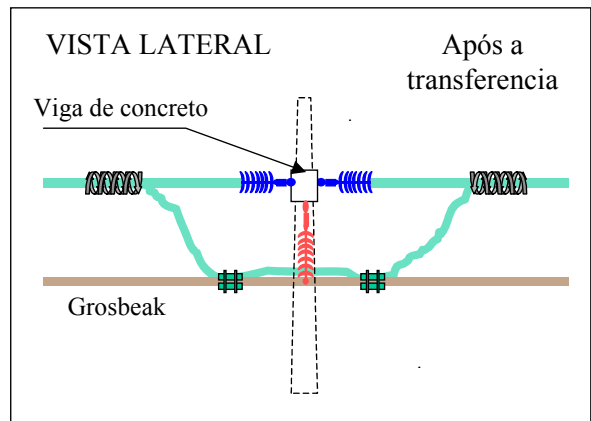
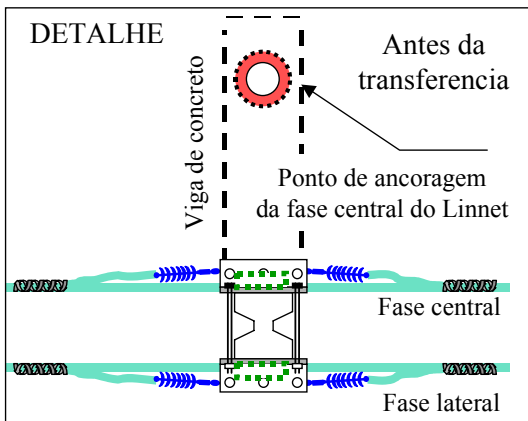
Os parâmetros de aceitação dos feixes obtidos, em principio deve atender o seguinte:

- Flecha do Linnet sempre menor que a do Grosbeak, em função da retirada do creep, porém nunca menor que 85% desta.
- Separação vertical entre Linnet e Grosbeak, no meio do vão igual à média destas separações nas fixações nos pontos PX adjacentes, com tolerância de -0m a +1,5m.
- Caso a estrutura adjacente seja de jumper folgado, esta média passa a ser entre o PX e a distância das fixações na estrutura adjacente.



**Convenções :**  
 Cadeia da fase central

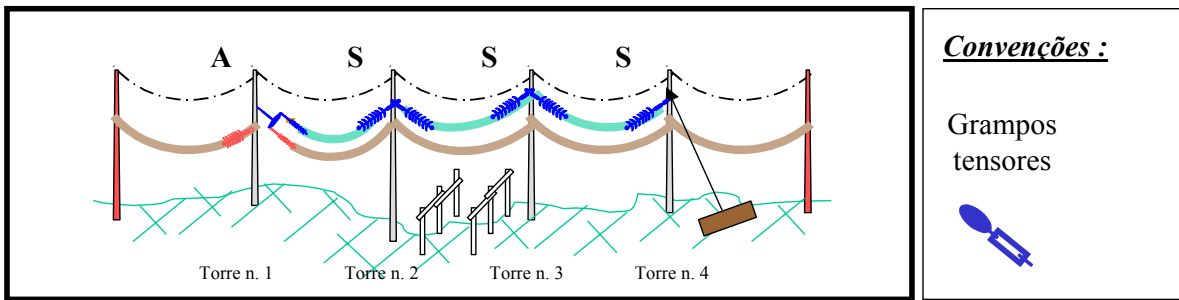
• Operação de transferencia do cabo da roldana para o ponto de fixação definitivo - fase central



### **2.3.14 Ajuste das Trações para a Correção do Creep**

Operação efetuada com a linha desenergizada

**Nas duas pontas do tramo de trabalho, estrutura de ancoragem na torre n.1 e na torre n.4, são instalados grampos tensores junto com as cadeias de isoladores. Estes grampos tensores, permitem que se faça o tracionamento fino dos cabos para a correção do creep, de forma que fiquem nas posições corretas conforme tabela gerada pelo projeto, garantindo assim as distancias de segurança dos cabos em relação a terra e do cabo Linnet em relação ao Grosbeak.**



- Operação de tracionamento dos grampos tensores para a correção do creep, conforme tabela fornecida pelo projeto.



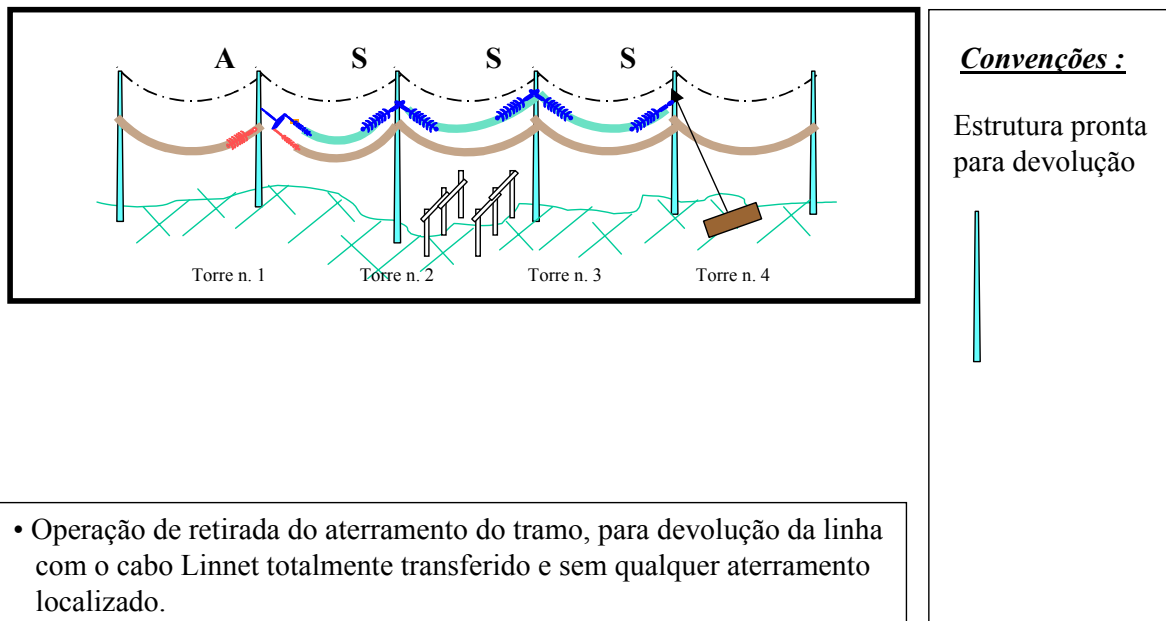
2.3.15 Retirada de Aterramento do Tramo de Trabalho e Devolução da Linha

Operação efetuada com a linha desenergizada

**Após o cabo Linnet está totalmente transferido, interligado ao cabo Grosbeak, nivelado e**



**grampeado, inicia-se o processo de retirada do aterramento para posterior devolução da linha.**

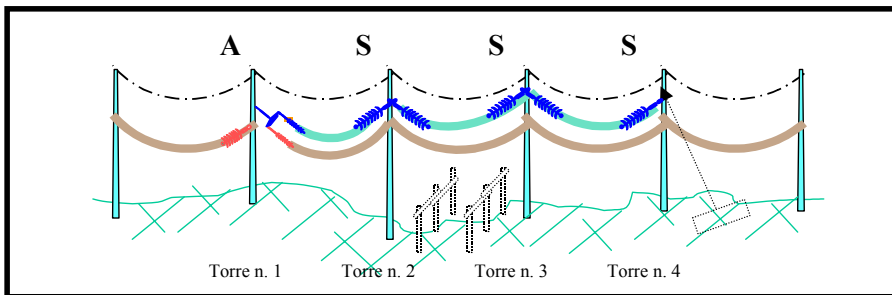


### 2.3.16 Retirada de Empancaduras e Estaiamentos Provisórios

Operação planejada para ser efetuada com linha energizada

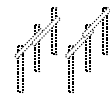
Com o tramo totalmente concluído, efetua-se a desmontagem das empancaduras e estais provisórios. Para se evitar acidentes com terceiros, esta atividade deverá ser efetivada e concluída antes de se reiniciar os trabalhos de recapacitação no tramo seguinte.

Apos o lançamento, conferir as flechas finais dos condutores Linnet auxiliar, principalmente nas travessias



**Convenções :**

Empancaduras



Estais  
provisórios



- Operação de desmontagem imediata das empancaduras e estais provisórios para evitar acidentes com terceiros

## 3 GERENCIAMENTO DE RISCOS

### 3.1 O que é Gerenciamento de Riscos

No vale do Tigre-Eufrates cerca de 3200 a.C. vivia um grupo chamado Ashipu. Uma de suas funções primárias era servir de consultor de risco, incertezas ou decisões difíceis. Se decisões deveriam ser tomadas com respeito ao risco futuro de um evento, como um arranjo de casamento ou sobre uma construção, era consultado um membro do Ashipu. O Ashipu poderia:

- 1 – identificar a importância e dimensão do problema;
- 2 - identificar ações alternativas;
- 3 – coletar dados esperados, como lucros ou perdas, sucesso ou falha de cada alternativa.

A melhor solução avaliada sob sua perspectiva era sinal de Deus, pois os Ashipu eram qualificados como divinos. O Ashipu poderia então criar uma lista. Para cada alternativa, se o sinal era favorável eles poderiam entrar com um mais, se não era com um menos. Após a análise completada, o Ashipu poderia recomendar a alternativa mais favorável, o último passo era elaborar um relatório final, gravado sobre uma mesa de argila [15].

A prática do Ashipu marca a primeira instância gravada de um simplificado gerenciamento de risco. As similaridades entre as práticas e procedimentos dos modernos analistas de risco e os seus ancestrais Babilônicos, decorrem do ponto que as pessoas tem se deparado com problemas de risco por longo tempo, freqüentemente de forma sofisticada e quantitativa.

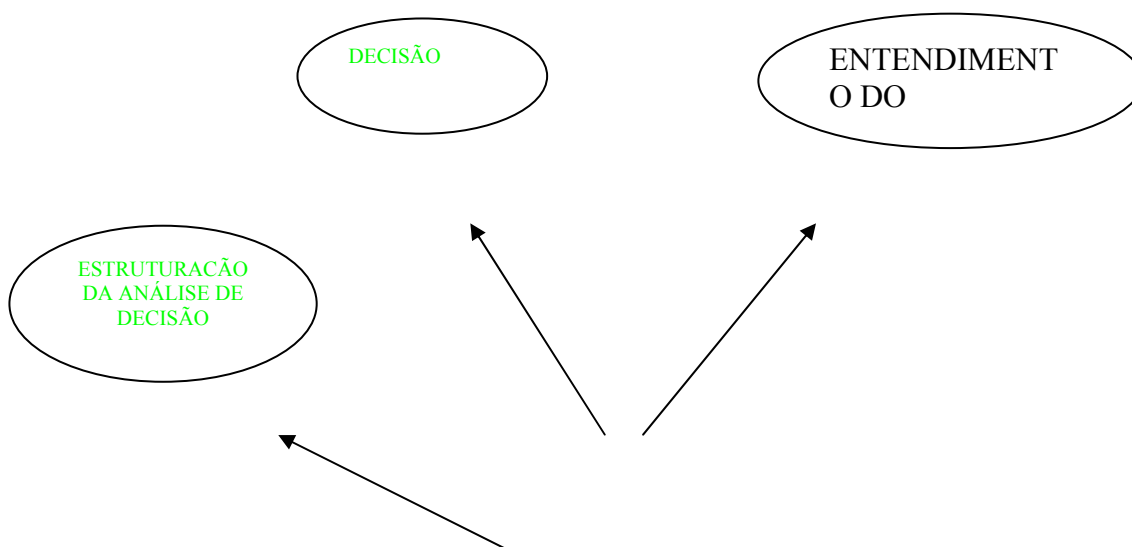
Modernamente podemos afirmar que gerenciar riscos é tomar decisões levando em consideração as incertezas [ 14 ].

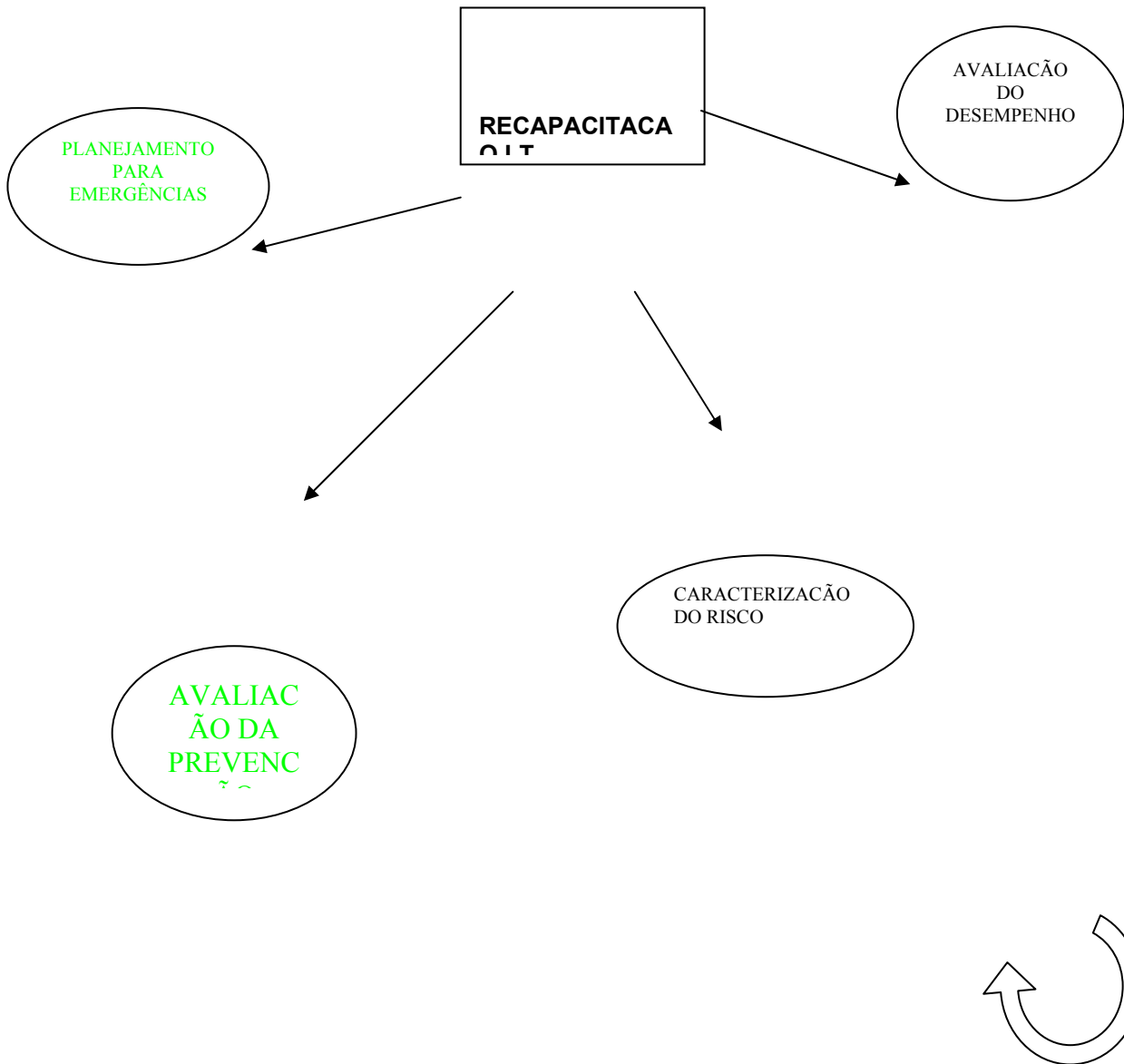
Implementar um programa de gerenciamento de riscos deverá ser uma forma de pensar estruturada e organizada que permita ao decisor, entender o problema, examinar os detalhes, desenvolver maneiras de pensar estrategicamente, identificar e avaliar alternativas para reconhecer as implicações das decisões e poder comunicar efetivamente com os outros.

A Figura 3.1, mostra graficamente a forma estruturada de pensar o gerenciamento dos riscos. Duas partes estão distintas na figura, a engenharia e o gerenciamento.

**A engenharia se refere as três primeiras etapas :  
o entendimento do problema, a avaliação do  
desempenho e a caracterização do risco. Em seguida,  
um programa de gerenciamento de riscos, que  
consiste na avaliação das prevenções, planejamento  
para emergências, estruturação das análises de  
decisão e finalmente a decisão.**

**Neste trabalho, estudaremos apenas uma das  
partes do entendimento do problema que é a  
identificacao de perigos.**





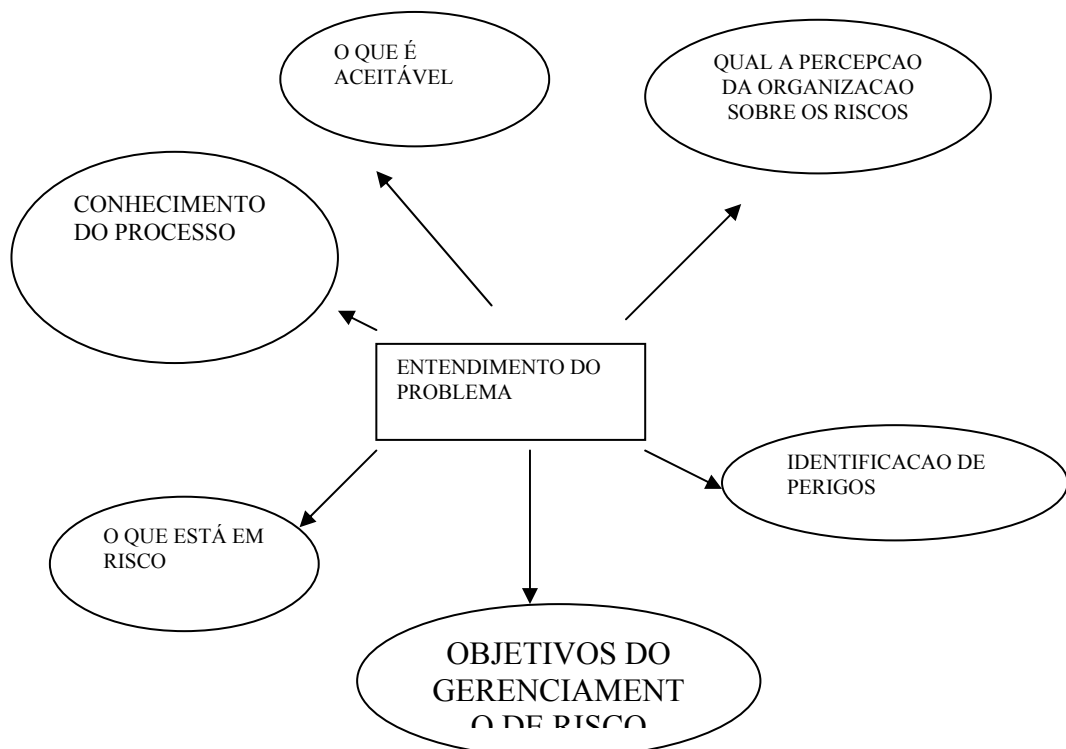
**Figura 3.1 – Gerenciamento de Riscos**

### 3.2 O Entendimento do Problema

Aumentar a potência transmitida nos sistemas de energia elétrica é fundamental para o desenvolvimento, construindo novas linhas de transmissão ou recapitando linhas já construídas. Na recapitação uma boa etapa é feita com a linha existente energizada o que aumenta em muito os riscos de acidentes e/ou descontinuidade do fornecimento de energia elétrica, o que não ocorre na construção de novas linhas. O custo entretanto como vimos no capítulo 2 é muito maior na construção que na recapitação. Novas linhas requerem novos corredores de faixa de servidão o que aumenta o impacto ambiental. Na recapitação, não se usam novas faixas de servidão, pois se aproveita a da linha existente.

O processo de recapitação de linhas de transmissão com a técnica de feixe expandido, é uma resposta para redução de impactos ambientais e custos, no aumento da oferta de energia (vide capítulos 1 e 2), dessa forma é fundamental que façamos melhor com os recursos disponíveis. Quais as melhores alternativas para a alocação de recursos? Aceitar as perdas? Transferir as perdas? ou reduzir as perdas melhorando o desempenho do processo? Infelizmente os perigos, conforme veremos mais adiante neste capítulo, são partes naturais do processo de recapitação de LT com a técnica de feixe expandido e não devemos nem ignorar nem temer, devemos entender o problema e reconhecer as ações alternativas que podem ser tomadas.

A figura 3.2 nos dá uma idéia gráfica do conceito do entendimento do problema.



### *Figura 3.2 – Entendimento do problema*

Nesta etapa, procuramos conhecer as operações funcionais da recapitação de LT com a técnica de feixe expandido, conforme vimos nos capítulos 1 e 2. Conhecer o processo é uma etapa demorada e que consome a maior parte dos recursos disponíveis, mas é fundamental para o desenvolvimento do programa de gerenciamento de riscos, pois o que não pode ser identificado, não pode ser estudado. Ainda na fase de entendimento do problema, procuramos responder aos questionamentos sobre o que está em risco na recapitação das LT com a técnica de feixe expandido: o que está em risco referente às pessoas; a propriedade e a missão do empreendimento. Qual a sensibilidade do processo em relação aos riscos associados? O que é aceitável em termos dos riscos? Qual o nível de percepção da organização do empreendimento em relação aos riscos? E finalmente, identificamos os perigos. Toda esta etapa deverá ser documentada de maneira clara e que se possa comunicar a todos os envolvidos no empreendimento.

O conhecimento do processo em suas operações funcionais, deve ser estudado de forma detalhada como fizemos nos capítulos 1 e 2. No capítulo 1, vimos o desenvolver da teoria da LPNE com a técnica de feixe expandido, concebida para projeto de novas linhas de transmissão compacta e vimos também à adaptação da teoria para a recapitação de linhas existentes realizada em conjunto pela CHESF, CEPEL e FURNAS, técnica que ajuda a reduzir custos e impactos ambientais. No capítulo 2, detalhamos o processo de construção para recapitar um tramo de trabalho de uma linha existente através de um projeto real que foi a recapitação da LT Paulo Afonso/Bom Nome/Milagres.

Para se completar o entendimento do problema, teríamos que identificar e conhecer a percepção da CHESF sobre os riscos de se recapitar a LT. Deveríamos também, conhecer o que é aceitável em termos de risco para a CHESF e para o empreendimento, qual os objetivos de um programa de gerenciamento de riscos, o que está em risco em termos da CHESF e do empreendimento e finalmente identificar os perigos existentes.

Neste trabalho nos concentramos em identificar os perigos existentes no empreendimento, isto é quais os perigos estão presentes na construção para recapitar a LT Paulo Afonso/Bom Nome/Milagres.

Varias técnicas de identificação de perigos são recomendadas internacionalmente [13]. A seguir vamos conhecer resumidamente quais as principais

### **3.3 Identificação de Perigos**

**A identificação dos perigos deve levar em consideração os perigos existentes para as pessoas, para a propriedade, missão e objetivos do empreendimento e para a comunidade circunvizinha. Para a identificação de perigos, existem várias técnicas. No contexto da indústria química, petroquímica e naval, temos as recomendados internacionalmente [13] :**

- **Revisão de segurança**
- **Análise de checklist**
- **Ranking relativo**
- **Análise preliminar de perigo ( APP)**
- **Análise de what-if**
- **Análise de what-if/checklist**
- **Análise de perigo e operabilidade ( HAZOP)**
- **Análise de modo de falha e efeito (AMFE)**
- **Análise de árvore de falha (AAF)**



- **Análise de árvore de eventos (AAE)**
- **Análise de causa e consequência**
- **Análise de confiabilidade humana.**

**Vamos conhecer através de um breve resumo as principais características de cada uma destas técnicas, sem entretanto fazermos juízo de valor sobre cada uma delas para identificação de perigos na recapacitação de LT com a técnica de feixe expandido, pois iremos propor uma adaptação de uma nova técnica não apresentada na lista acima.**

### **Revisão de Segurança (RS)**

**A técnica de revisão de segurança é uma inspeção detalhada para identificação de perigos em processos, condições de instalações, práticas operacionais ou atividades de manutenção. Usando a técnica de revisão de segurança para conduzir inspeções periódicas de uma planta operacional, assegura-se a implementação de um programa de gerenciamento de segurança dentro das expectativas**

**originais e normativas. Estas inspeções mantêm o pessoal operacional alerta para os perigos existentes no processo, já que eles próprios é que devem responder as questões do grupo de analistas de perigos. A RS procura identificar procedimentos operativos que necessitam ser revisados, mudanças em equipamentos ou processos que podem introduzir novos perigos, e manutenção inadequadas ou troca de equipamentos. A RS pode também dar ao analista a oportunidade de aplicar novas tecnologias para eliminar um perigo existente ou reduzir o risco de um processo. A RS pode ser dirigida diretamente para cada aspecto de uma instalação existente ou sistema. Pode ser usada também para plantas piloto, laboratórios, instalações de armazenamento ou serviços de apoio. A RS deve contemplar dentro do escopo da análise, todos os equipamentos da planta, os instrumentos, instalações de proteção ambiental, áreas de manutenção e serviços ( ex: fogo, segurança, treinamento e higiene industrial). Entrevistas com os**

**colaboradores da planta ( incluindo operadores, mantenedores, engenheiros, gerentes e pessoal de segurança), são necessárias de modo que a instalação seja examinada através de muitas perspectivas. Tanto a rotina de operação ( ex: descarregamento de um caminhão tanque de um produto químico) quanto às atividades não rotineiras ( ex: troca do aquecedor externo de um feixe de tubos) são importantes para revisão de segurança. Uma passagem pelas áreas do processo também é essencial. Uma avaliação do conhecimento e treinamento do pessoal da planta pode ser incluído como uma das partes de RS. A cooperação de cada indivíduo no grupo é necessária para ampliar a segurança geral e o desempenho da planta. Por outro lado, o conhecimento dos benefícios da RS deve ser comunicado a todos para que eles possam participar e se comprometerem com a segurança.**

**Um ponto forte desta técnica é que compromete todos os envolvidos na instalação/processo com os**

**perigos já conhecidos e identificados anteriormente durante a construção do programa de gerenciamento de segurança. Na verdade não é bem uma técnica de identificação de perigos e sim uma revisão do que já foi identificado. Não suporta análise quantitativa. Visivelmente tem uma aplicabilidade maior para plantas já existentes e que possuem um programa de gerenciamento de segurança em detrimento do que em processos de engenharia.**

#### **Análise de checklist**

**Nesta técnica, o analista, usa uma lista de itens específicos para identificar tipos de perigos já conhecidos como: deficiência de design e situações de potenciais acidentes associados com processos comuns, equipamentos e operações. A técnica pode ser usada para avaliar materiais, equipamentos ou procedimentos. Checklist são mais frequentemente usados para avaliar um design específico no qual uma companhia ou indústria tenha uma significativa experiência, porém pode ser usado em**

**estágios iniciais ou em desenvolvimento do processo, desde que existam sistemas similares em que se foram por anos identificados e eliminados perigos. O uso apropriado de cheklists geralmente assegurará que as partes do equipamento estejam conforme as normas vigentes e pode identificar áreas do equipamento que requeiram futuras avaliações. Para que seja mais útil, o checklist deve ser construído individualmente para cada processo, planta ou produto. O checklist de um processo conhecido usualmente inclui uma passagem pela área de processamento comparando o equipamento e/ou processo com o checklist, anotando as não conformidades.**

**O ponto forte desta técnica é que se os riscos são bem conhecidos, não é necessário um analista especializado para conduzir a análise. O principal ponto fraco desta técnica é que os perigos que não estejam no checklist não serão analisados e podem surpreender desagradavelmente. É claramente uma**

**técnica para processos e instalações onde os perigos já foram identificados.**

### **Ranking relativo**

**Esta técnica procura ordenar áreas de processamento ou operação nas plantas pela comparação de atributos de risco. Algumas vezes, o RR é usado para comparar processos ou alternativas de design. Geralmente um RR pretende distinguir entre várias áreas de processamento, baseadas na magnitude dos perigos, probabilidades de acidentes e/ou severidade do potencial de acidentes. Os métodos usados para isto são variados em forma e complexidade podendo ser usados ambos qualitativos e quantitativos.**

**O ponto forte desta técnica é que o decisor poderá focar esforços e recursos naquela(s) áreas que possuem maior potencial para produzir acidentes. Não é uma verdadeira técnica de**

**identificação de perigos e sim um ordenador de riscos.**

**Análise preliminar de perigos (APP)**

**A análise preliminar de perigos, foi desenvolvida pelo exército dos EUA. Na indústria química é costumeiramente utilizado durante o projeto de uma nova planta para determinar os perigos existentes. A APP, não prever a necessidade de novas avaliações, de fato, é usualmente uma precursora para estudos subsequentes de avaliação de perigos. Há duas principais vantagens para se usar a APP na fase de projeto. (1) pode identificar perigos potenciais no momento em que eles podem ser corrigidos com custo mínimo e sem descontinuidade operacional. (2) pode desenvolver uma equipe para identificar e/ou desenvolver diretrizes de operação que possam ser usadas durante o ciclo de vida do processo. Assim os principais riscos podem ser eliminados, minimizados ou controlados no início. A APP também pode ser**

**usada em uma instalação já existente quando se deseja uma ampla análise dos riscos em situações de potencial acidente. Na APP, a equipe lista os elementos básicos de um sistema e os perigos de interesse. São então construídas tabelas com os perigos identificados, as causas potenciais, efeitos e possibilidades de correção e/ou medidas preventivas.**

**O principal ponto forte desta técnica já está nomeado na descrição que é a capacidade de se identificar os perigos numa fase em que eles podem ser eliminados e/ou minimizados sem que se tenha que efetuar grandes rupturas no processo e/ou continuidade operacional do sistema. É uma técnica que se presta para novas tecnologias, porém é apenas qualitativa e quando aplicada a um processo complexo, poderá produzir uma grande quantidade de tabelas que não facilitam a comunicação com os envolvidos no processo.**

Análise de What-if



**A técnica de what-if é um “brainstorming” criativo para examinar um processo ou operação. O analista de perigo, rever o objeto do processo ou atividade em reuniões que tratam das questões potenciais de segurança, identificadas pelos analistas. Cada membro da equipe é incentivado a verbalizar questões de what-if sobre as fases do processo. A técnica de what-if pode ser usada para examinar virtualmente qualquer aspecto de design de instalação e operação. É uma técnica poderosa, se os analistas são muito experientes no processo. De outra forma, se o processo é novo, o resultado pode resultar em uma análise incompleta. A técnica usada em sistemas simples pode facilmente ser conduzida por uma ou duas pessoas. Um processo complexo pode demandar uma grande equipe de especialistas, com longas e muitas reuniões. Os processos são revistos, começando do início e seguido o fluxo até a sua conclusão ( ou fronteira previamente definida). Também pode focar em um tipo particular de**

**consequência ( ex: segurança pessoal, segurança pública ou segurança do meio ambiente). O resultado usualmente leva a situações de potencial acidente apresentado pela equipe. Estas questões e discussões frequentemente oferecem sugestões de causas específicas para identificação de situações de acidentes. Estas questões vão compor tabelas com as várias situações e sugestões de soluções.**

**O ponto forte da técnica é a capacidade de se praticamente esgotar a identificação de perigos para processos simples, quando se tem uma equipe muito experiente no conhecimento do processo. Não suporta uma análise quantitativa. Em sistemas complexos e novos, a equipe pode perder o foco do trabalho em extensas indagações e gerar tabelas intermináveis com questionamentos sem interesse. A geração de tabelas não é boa para comunicar aos envolvidos no processo os perigos identificados e não facilita o decisor na escolha das alternativas.**

## Análise de what-if/checklist

**A técnica é uma combinação de duas técnicas já referenciadas. A técnica de what-if e a de checklist. É usualmente aplicada por uma equipe experiente no processo. A equipe usa “brainstorming” para identificar os perigos associados às várias fases do processo. Após é usado um ou vários checklists para preencher os vazios que foram esquecidos ou não identificados. A combinação das duas técnicas assimila os pontos fortes de cada uma. A estimulação da criatividade na what-if com a experiência adquirida na confecção de checklists.**

**O ponto forte da técnica é a tentativa de se usar o what-if para processos mais complexos, porém soma também os pontos fracos das duas técnicas já descritos.**

## Análise de perigo e operabilidade (HAZOP)

**A técnica HAZOP é baseada no princípio que vários especialistas com diferentes experiências e**

**conhecimentos podem interagir de uma forma criativa e sistemática e assim identificar mais problemas quando trabalhando juntos do que separadamente e combinando seus resultados.**

**Embora o HAZOP tenha sido originalmente desenvolvido para avaliação de novo design e novas tecnologias, é aplicável em praticamente todas as fases de vida útil de qualquer processo. A essência do HAZOP é revisar processos e procedimentos em uma série de reuniões durante as quais, uma equipe multidisciplinar usa um protocolo pré-escrito para metodicamente avaliar as significâncias e desvios de um design normal. O HAZOP, por definição, deve ser executado por uma equipe de indivíduos que tenham habilidades específicas e necessárias para conduzir o processo. A vantagem principal do “brainstorming” associado com o HAZOP é que estimula a criatividade e gera novas idéias. Esta criatividade é resultante da interação de um grupo com experiências diferenciadas. Conseqüentemente o**

**sucesso do estudo requer que todos os participantes expressem livremente seus pontos de vista livre de críticas preconceituosas. Estas proposições criativas, combinadas com o uso de um protocolo sistemático para exame das situações de perigo, ajuda a ampliar o estudo minucioso do processo. O HAZOP foca em pontos específicos do processo ou operação chamados de nós (seção do processo ou passo de operação). A equipe examina cada nó para descobrir potenciais desvios no processo, derivados de um conjunto de pontos pré-estabelecidos chamados de palavras guias. O propósito das palavras guias é assegurar que todos os desvios relevantes dos parâmetros do processo sejam avaliados. Algumas vezes o grupo considera um grande número de desvios ( entre 10 e 20) para cada tipo de processo. Mesmo na indústria química onde o HAZOP já está bem consolidado as palavras guias variam de organização para organização.**

**O ponto forte do HAZOP é a utilização de equipe multidisciplinar, isto é, o envolvimento leva a um conjunto de soluções bastante criativas. É uma técnica apenas qualitativa. Como é necessário o perfeito conhecimento do processo pelo grupo, novas tecnologias não são bem avaliadas. O maior ponto fraco é que se admite de antemão que as condições operacionais estão sempre corretas e estudam-se apenas os desvios destas operações. As recomendações são listadas em tabelas que para novas tecnologias e processos complexos podem gerar listas enormes que dificultam a comunicação dos desvios aos envolvidos na operação do processo.**

Análise de modo de falha e efeito (AMFE)

**Esta técnica avalia as formas que um equipamento pode falhar (ou ser operado imprópriamente) e o efeito que esta falha possa ter no processo. Esta descrição das falhas apresenta ao analista uma base para determinar onde mudanças**

**podem ser feitas para melhorar o design do sistema. Durante a AMFE, o analista de perigos, descreve as consequências potenciais e relata-as somente para as falhas do equipamento. Raramente se investiga danos ou lesões que possam surgir se o sistema for operado com sucesso. Cada falha individual é considerada como uma ocorrência independente, com nenhuma relação com outras falhas no sistema, exceto para os subsequentes efeitos que isto possa produzir. Entretanto em circunstâncias especiais falhas de causas comuns de mais que um componente do sistema pode ser considerado. Os resultados de uma AMFE são usualmente listados em formato tabular, item por item de equipamento. Geralmente o analista de perigo, usa a AMFE como uma técnica qualitativa, embora ela possa ser estendida para dar uma prioridade em ordenação baseado na severidade da falha.**

**O ponto forte desta técnica é o foco no equipamento que ela apresenta. Quando bem**

**conduzida poderá levar a desenvolvimentos de engenharia que poderá praticamente eliminar as principais falhas e consequências em um dado equipamento. Apesar da possibilidade de ordenamento das falhas e consequências não é um método quantitativo. Não tem boa aplicação para processos, ajusta-se melhor a equipamentos, não considera o encadeamento das etapas do processo pois analisa os perigos (falhas) em separado e não possui uma boa forma de comunicar os resultados pois poderá gerar uma lista enorme de falhas para sistemas complexos.**

### **Análise de árvore de falhas (AAF)**

**A árvore de falhas é um modelo gráfico que ilustra a combinação de falhas que causará uma falha específica de interesse chamado de evento topo. A análise de árvore de falhas é uma técnica dedutiva que usa símbolos da álgebra booleana para se identificar às causas que levaram um evento topo**



**baseado em uma falha de equipamento e erro humano (chamado de eventos básicos). O analista começa com um acidente ou evento indesejável em que se identifica sua causa imediata. Cada uma das causas imediatas é então examinada da mesma forma que o evento topo ou inicial. As causas imediatas dos eventos secundários são então examinadas sucessivamente da mesma forma criando assim uma árvore de causas de falhas que se relacionam entre si e que levaram a ocorrência do evento topo. Os eventos topo são perigos que foram identificados através de outras técnicas quaisquer já mencionadas anteriormente ( what-if, HAZOP, AMFE, checklist etc.) A árvore é constituída através de portas lógicas da álgebra booleana. Uma vez a árvore pronta, usa-se a técnica de simplificação de expressões booleanas para se reconstruir a árvore simplificada. As causas imediatas finais representam as causas raiz que geraram o evento (falha, consequência) topo. Agindo nas causas raiz, podemos**

**evitar ou minimizar as consequências do evento topo.**

**Assim uma lista de ações preventivas poderá ser gerada a partir de cada causa raiz.**

**Uma vez bem definido o evento topo e uma equipe com sólidos conhecimentos do processo, pode-se chegar a eliminar a ocorrência do evento topo. É uma excelente técnica para investigação de acidentes/incidentes, sua configuração gráfica é boa para comunicar os envolvidos. Não é uma técnica quantitativa, precisa de outras técnicas adicionais para identificar perigos. Em um processo não é claro como se selecionar os eventos topo, não considera a dependência entre eventos, pois os trata em separado e não é claro quando parar na construção da árvore. A árvore poderá ser imensa em processos complexos e pode-se perder o foco na identificação das causas raiz o que levará ao comprometimento da análise. Pode-se ainda, girar em círculos e não se chegar às causas raiz quando o analista não for muito experiente na aplicação da técnica. Adicionalmente**

**exige-se da equipe o conhecimento de álgebra booleana e suas técnicas de simplificação.**

### **Análise de árvore de eventos (AAE)**

**A análise de árvore de eventos, avalia o potencial para ocorrência de um acidente como resultado de uma falha de um equipamento ou desvio de processo (evento inicial). Diferente da árvore de falhas que é um processo dedutivo, a árvore de eventos usa um processo indutivo, onde o analista começa com um evento inicial e desenvolve as possíveis sequências de eventos que tem potencial de levar ao acidente contando com o sucesso/insucesso de qualquer função de segurança que esteja associada como o progresso do acidente. A árvore de eventos apresenta uma forma sistemática de mostrar as sequências que levam a um acidente e definir as relações entre eventos iniciais e subsequentes que resultam no acidente. A AAE é bem ajustada para análise de eventos iniciais que não levam a uma grande**

**variedade de consequências. A AAE enfatiza a causa inicial do potencial acidente e trabalha, do início aos efeitos finais do evento, cada ramo da árvore que representa uma sequência separada de acidente que é claramente definido como um conjunto de relações entre as funções de segurança para o evento inicial.**

**A AAE tem como pontos positivos, poder se ajustar bem tanto a equipamentos, instalações quanto a processo. É uma técnica que suporta bem a análise quantitativa. Seu raciocínio indutivo se ajusta a novas tecnologias, tem uma boa forma de comunicar através dos diagramas lógicos e é eficiente na identificação de perigos. Não é boa para processos muito complexos pois poderá levar a construção de uma árvore muito grande com uma grande variedade de consequências que dificultam a decisão. A utilização do raciocínio sucesso/insucesso limita as análises de segurança pois exclui as situações intermediárias.**

## **Análise de causa e consequência (ACC)**

**A ACC combina o raciocínio indutivo da AAE com o raciocínio dedutivo da AAF. O resultado é uma técnica que relata as consequências específicas de um acidente para suas causas possíveis. A vantagem desta técnica é que usa um método gráfico que pode ser analisado ao mesmo tempo em ambas as direções: para frente em direção as consequências do evento e para trás em direção as causas básicas do evento. A desvantagem é que somente modelos simples podem ser facilmente visualizados já que em modelos complexos, a combinação poderá resultar num diagrama pesado de difícil visualização. O resultado da ACC é um diagrama que mostra as relações entre as consequências de um acidente e suas causas básicas. A solução do diagrama para um acidente particular é uma lista das sequências mínimas.**

**O ponto forte desta técnica é que na investigação de acidentes, têm-se condições de se comunicar de**

**forma ampla e completa as causas e conseqüências do evento indesejado. Muito mais que benefícios, a união das duas árvores para a identificação de perigos, trás as desvantagens de cada uma somada ao fato de se retirar a suportabilidade da análise quantitativa. Para processos complexos é inviável pois cria um diagrama difícil de ser lido e comunicado.**

**Análise de confiabilidade humana**

**A análise de confiabilidade humana é uma sistemática avaliação dos fatores que influenciam o desempenho de operadores, mantenedores, técnicos e outros envolvidos no processo. Este tipo de análise descreve as características físicas e de meio ambiente das tarefas juntamente com os fatores : habilidades, conhecimento e capacidades das pessoas que irão executá-las. A técnica identificará situações de erro que podem causar ou levar a um acidente. Pode ser usada também para traçar as causas de**

**erros humanos. É executada usualmente juntamente com a complementação de outras técnicas.**

**É uma técnica acessória que possui a limitação de lidar com o comportamento humano. Buscar as causas de falhas no processo e bloquear os possíveis erros humanos é mais aconselhável.**

**Apesar de várias destas técnicas poderem ser utilizadas na identificação de perigos na recapacitação de LT, no próximo item vamos propor uma nova técnica não recomendada internacionalmente que entendemos nos permite identificar os perigos na recapacitação das LT e comunicar de forma lógica e simples os resultados observados.**

#### **3.4 Novos Diagramas Lógicos**

**Vamos propor uma nova técnica, baseada em diagramas lógicos, concebida pelo Professor**

## **Fitzgerald originalmente para identificação de perigos de incêndio em instalações prediais.**

Esta técnica adicional de identificação de perigos, que estamos introduzindo neste capítulo, apresenta redes lógicas com bastante flexibilidade [14], que se ajustam bem ao processo de recapacitação de LT com a técnica de feixe expandido. Estes diagramas são “*frameworks*” semigráficas que são usadas para descrever a sequência de um processo, focando a atenção na situação que esta sendo avaliada, identificando os perigos associados a cada etapa e ajudando-nos a comunicar com todos os envolvidos no processo. Dois tipos diferentes de estruturas de redes são usados. O primeiro tipo, “*continuous value network*” (CVN) é semelhante a um “filme”. Em outras palavras, a “*continuous value network*” ajuda-nos a construir a sequência das etapas dependentes do processo. A CVN começa com um evento específico e segue na construção de uma rede de etapas que apresenta uma lista de figuras encadeadas de possibilidades. Usa-se o conhecimento do processo para identificar a sequência lógica das etapas. Após, um diagrama genérico é construído, com suas etapas formando um “filme” como em um script padrão.

O segundo tipo de rede, “*single value network*” (SVN), é analogamente como uma fotografia de um filme em movimento. A SVN permite parar o filme e examinar os perigos presentes em cada etapa da CVN. De maneira geral podemos construir tantas SVN quanto quisermos nos aprofundar, porém, se tivermos uma clara percepção do que é aceitável/inaceitável para o processo, só precisaremos selecionar uns poucos quadros do “filme” para estudarmos em detalhes. As CVN nos permitem focar na sequência das etapas do processo que esta sendo considerado. Já as SVN, permitem-nos parar o filme, no instante e/ou etapa desejada e identificar os perigos presentes. A coordenação destes dois diagramas lógicos representa uma poderosa técnica de identificação de perigos.

No capítulo 4 iniciamos as discussões para incorporar tempo, custo e risco em uma análise quantitativa.

O conjunto de 16 etapas já descritas em detalhes no capítulo 2 compõe o processo completo da recapacitação de um tramo de trabalho.

Para que possamos construir a CVN, precisamos identificar as relações de dependência entre as etapas.

### **3.5 Relações de dependência entre Eventos [16]**



Consideremos  $\Omega$  como sendo o conjunto de todos os resultados possíveis de um certo fenômeno aleatório denominado de espaço amostral

Dois eventos  $A$  e  $B$  são *disjuntos* ou *mutuamente independentes*, quando não tem elementos em comum i.é:

$$A \cap B = \emptyset$$

Dizemos que  $A$  e  $B$  são *complementares* se sua união é o espaço amostral e sua intersecção é vazia. O complementar de  $A$  será representado por  $A^c$  i. é:

$$A \cup B = \Omega \text{ e } A \cap B = \emptyset, \text{ sendo } B = A^c$$

Dois eventos  $A$  e  $B$  são *independentes* se a informação da ocorrência ou não de  $B$  não altera a probabilidade da ocorrência de  $A$  i. é:

$$P(A \cap B) = P(A).P(B)$$

**Não é difícil verificar que se  $A$  é independente de  $B$ , então  $B$  é independente de  $A$  e o evento vazio é independente de qualquer evento.**

Quando dois eventos não atendem nenhuma das condições acima, poderemos considerá-los eventos *dependentes*.

Utilizando está modelagem probabilística, vamos observar as relações entre as etapas consideradas no processo de recapacitação de um tramo de trabalho da Linha de Transmissão com a técnica de feixe expandido.

Consideremos as seguintes etapas como sendo o processo completo para recapacitação de um tramo de trabalho de uma LT com a técnica de feixe expandido:

1. Instalação de empancaduras
2. Instalação de estais provisórios
3. Instalação de roldanas com aterramento deslizante
4. Preparação de praças de lançamento
5. Lançamento de cabo piloto
6. Lançamento de cabo Linnet Auxiliar

7. Encabeçamento de uma extremidade do tramo sem fechamento de pulos
8. Nivelamento do cabo Linnet auxiliar
9. Instalação de cadeias intermediárias e suplemento de Linnet
10. Aterramento do tramo de trabalho
11. Encabeçamento definitivo da outra extremidade do tramo com fechamento de pulos
12. Instalação de pulos de conexão Linnet-Grosbeak nas fases laterais
13. Instalação de pulos de conexão Linnet-Grosbeak nas fases centrais
14. Ajuste das trações para correção de creep
15. Retirada de aterramento do tramo de trabalho e devolução da linha
16. Retirada de empancadura e estaiamentos provisórios

Consideremos as siglas

**I** – eventos independentes

**MI** – eventos mutuamente independentes

**D** - eventos dependentes

Através do detalhamento do processo no capítulo 2 e do conhecimento a priori do processo, poderemos construir as relações de dependências dos eventos definidos na Tabela 3.1 abaixo:

*Tabela 3.1 – Relações de Dependência*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	*	<b>MI</b>	<b>MI</b>	<b>MI</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>MI</b>	<b>MI</b>	<b>MI</b>	<b>MI</b>	<b>MI</b>	<b>MI</b>	<b>MI</b>	<b>MI</b>	<b>MI</b>	<b>I</b>
2	<b>MI</b>	*	<b>I</b>	<b>MI</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>
3	<b>MI</b>	<b>D</b>	*	<b>MI</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>
4	<b>MI</b>	<b>MI</b>	<b>MI</b>	*	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>
5	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	*	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>
6	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	*	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>
7	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	*	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>
8	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	*	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>
9	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	*	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>
10	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	*	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>

11	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	*	I	I	I	I	I
12	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	*	I	I	I	I
13	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	*	I	I	I
14	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	*	I	I
15	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	*	I
16	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	*

**Para que possamos construir um diagrama de figuras encadeadas com uma seqüência de etapas, essas devem ser dependentes numa ordem do início ao fim ou vice-versa conforme o processo. Como é pouco provável que tenhamos em um processo qualquer todas as etapas dependentes uma da outra numa seqüência do início ao fim ou vice-versa do processo, podemos obter uma ou várias cadeias de etapas independentes, mas que estas sejam dependentes em seqüência dentro delas. Da mesma forma poderemos extrair uma ou algumas etapas que não formam cadeia de dependência e analisá-las em separado por outros métodos ou construir SVN para cada um destes.**

**É importante ressaltar que uma etapa considerada independente e portanto, fora da CVN não caracteriza que esta não seja necessária e importante dentro do processo**

**No nosso caso da recapacitação da LT com a técnica de feixe expandido, observamos que a etapa de instalação de empancaduras, representa uma etapa separada da sequência, isto é, poderá estar presente em um determinado tramo ou não, dependerá da existência de travessias de rodovias ou de cruzamento com outras Linhas de Transmissão.**

**Desta forma esta etapa representa um evento independente dos outros, não está presente na CVN.**

**Da mesma forma, a instalação de estais provisórios, depende da configuração da torre dentro do tramo. Poderá ocorrer, caso a estrutura tenha sido projetada com um carregamento de forças crítico, o que forçará a instalação de estais provisórios para garantir a sustentabilidade da torre durante o processo de recapacitação. Por outro lado**

**se esta foi projetada com bastante folga, esta etapa não será necessária. Assim esta etapa é considerada independente e não estará presente na CVN.**

**A instalação de roldanas com aterramento deslizante, por outro lado está presente em todas as torres do tramo, porém poderá ser efetuada a qualquer tempo, inclusive em outro tramo em que não se esteja lançando cabo naquele momento. Desta forma não está contemplado na CVN.**

**Semelhantemente a instalação de roldanas com aterramento deslizante, é a etapa de preparação de praças de lançamento. Porém uma vez iniciado o lançamento do cabo piloto, o processo segue em sequência, sem que qualquer das etapas de 5 a 16 possa ser feito em tempos diferentes ou invertido por exemplo. Assim a etapa 6 não poderá iniciar enquanto a etapa 5 não estiver sido concluída e a etapa 7 não poderá ser iniciada enquanto a etapa 6 não tiver sido concluída e assim sequencialmente até a etapa 16.**

Da análise da tabela 3.1, observamos que os eventos do 5 ao 16 formam uma cadeia de eventos dependentes com uma seqüência do início ao fim do processo. Os eventos 1, 2, 3 e 4 poderão ser analisados separadamente.

Podemos assim construir uma CVN para os processos 5 a 16 conforme vemos na figura 3.5.

O sucesso ou insucesso da recapacitação com a técnica de feixe expandido de um tramo de trabalho em uma linha de transmissão, está associado ao cumprimento seqüencial das etapas descritas na CVN acima. Quando paramos o processo em cada uma das etapas da CVN, e analisamos, observamos que é possível encontrarmos diversas situações de perigo que podem comprometer cada uma destas etapas e com isso, levar-nos ao insucesso. Assim para cada etapa da CVN, podemos construir tantas SVN quando pudermos nos aprofundar. A construção destas SVN nos levará a compreender situações que envolvem pessoas em acidentes de trabalho e o patrimônio representado pela descontinuidade do fornecimento de energia elétrica através do desarme do sistema elétrico, que compromete o desempenho deste sistema, além de levar ao não cumprimento do cronograma da recapacitação.

Como o conhecimento, análise do processo nas suas diversas etapas (5 a 16) e a ajuda de diversos especialistas, construímos diversas SVN para as várias etapas da CVN representada na figura 3.5.

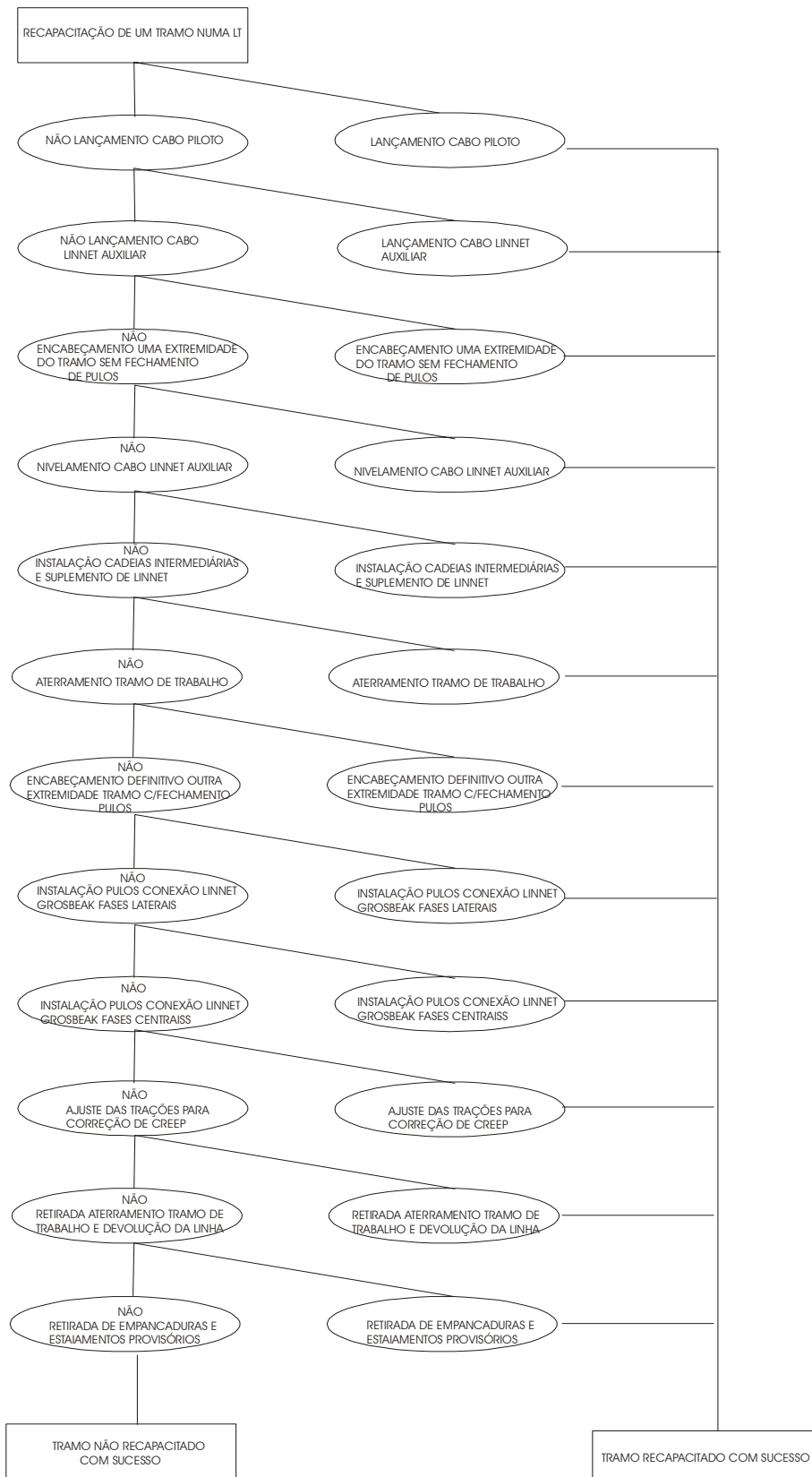


Figura 33 - CVN

### 3.6 SINGLE VALUE NETWORKS

Para cada etapa da CVN iremos construir SVN associadas:

#### 3.6.1 Lançamento Cabo Piloto

SVN - 01

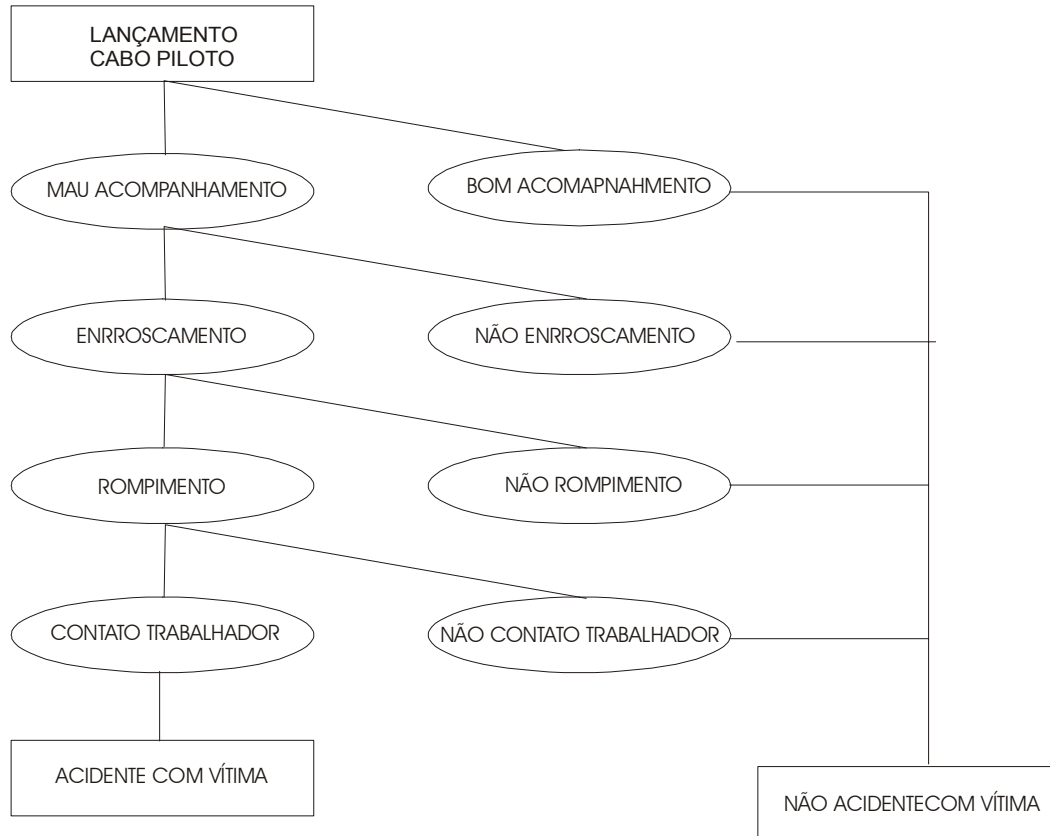


Figura 3.4 – SVN 01

Analisemos as etapas da SVN:

- ❖ Durante o arraste do cabo piloto, este deverá ser acompanhado de perto por um operador qualificado em todo o percurso do lançamento
- ❖ Caso não haja um bom acompanhamento do arraste do cabo piloto, este poderá se enroscar em algum local do terreno, como tocos, cercas etc.
- ❖ Com o cabo enroscado e sem o acompanhamento correto, poderá haver um tracionamento exagerado com o rompimento do cabo e/ou acessórios.
- ❖ O rompimento de um cabo de aço com um tracionamento exagerado libera uma força grande e descontrolada que ricocheteando poderá atingir um trabalhador que esteja na linha do cabo, vindo a acidentá-lo gravemente.



## SVN 02

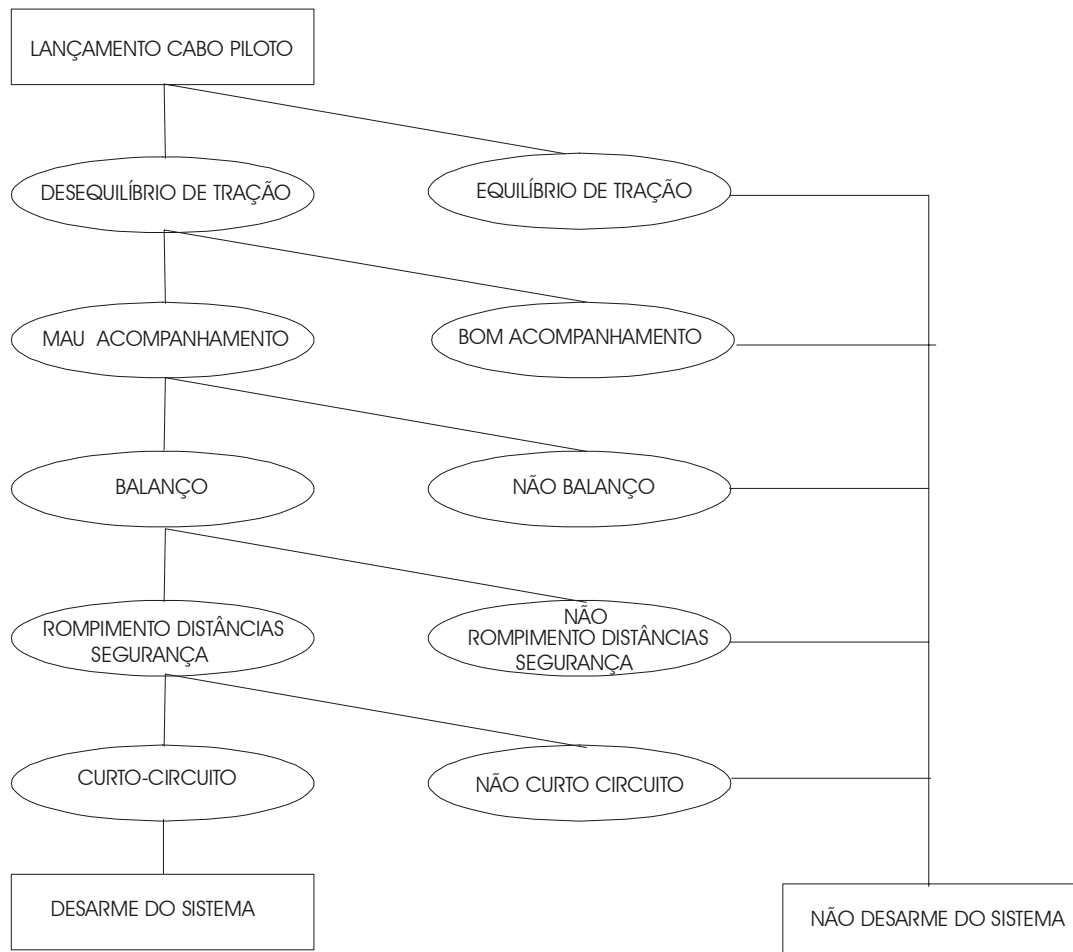


Figura 3.5 – SVN 02

### Analise as etapas da SVN-02

- ❖ Com o lançamento do cabo poderá ocorrer um desequilíbrio entre o puxamento do trator e o desenrolar da bobina do cabo piloto.
- ❖ O descuido e/ou mau acompanhamento do lançamento poderá acentuar o desequilíbrio do lançamento.
- ❖ Por efeito combinado de vento e arraste o desequilíbrio do lançamento poderá levar o cabo a balançar.
- ❖ O balanço do cabo piloto poderá levar a violação da distância de segurança em relação ao cabo Grosbeak energizado.

- ❖ A redução da distância de segurança poderá levar a um curto circuito fase-terra, desarmando o sistema.

### 3.6.2 Lançamento de o cabo auxiliar Linnet

SVN –03

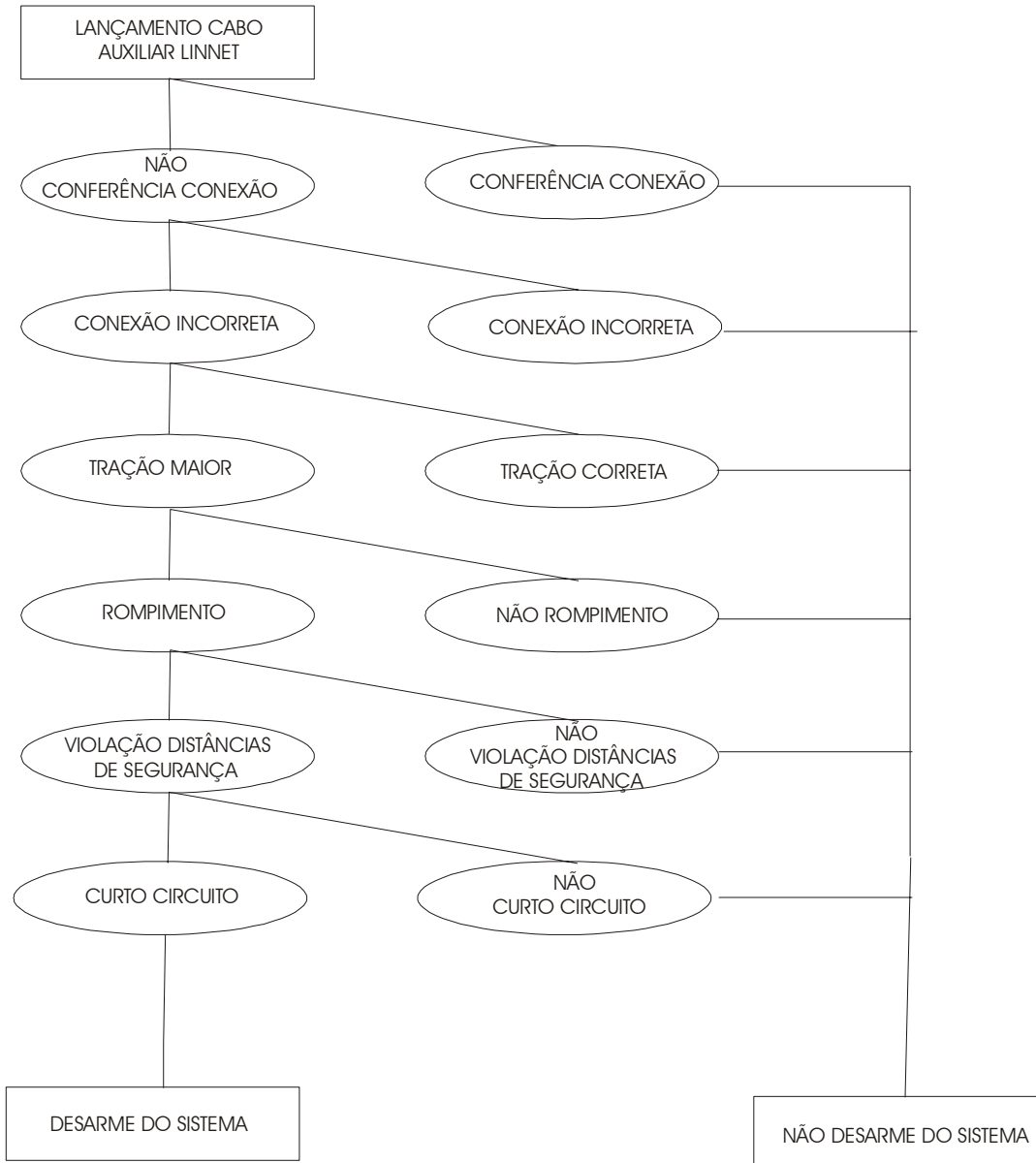


Figura 3.6 – SVN 03

Analisemos as etapas da SVN-03

- ❖ Após o lançamento do cabo piloto é efetuado uma conexão do cabo piloto com o cabo auxiliar para que este seja lançado, esta conexão deverá ser bem conferida.
- ❖ Em algumas situações a conexão incorreta não suporta a tração.

- ❖ A conexão incorreta poderá levar a um desequilíbrio do conjunto puller –freio e a tração se elevar acima do especificado.
- ❖ Este aumento de tração poderá levar a um rompimento da conexão.
- ❖ O rompimento poderá levar a violação das distâncias de segurança entre cabos energizados e desenergizados.
- ❖ A violação das distâncias de segurança poderá ser suficiente para a ocorrência de um curto circuito fase-terra, desarmando o sistema.

### 3.6.3 Encabeçamento de uma extremidade do tramo sem fechamento de pulos

SVN –04



Figura 3.7 – SVN 04

Analisemos as etapas da SVN-04:

- ❖ O encabeçamento consiste na fixação do cabo Linnet na extremidade do tramo sem o fechamento da continuidade. É fundamental que se estejam utilizando acessórios e ferramental com boa manutenção e dentro da vida útil.
- ❖ A não observância de manutenção adequada, poderá ocasionar o rompimento dos acessórios como por exemplo morcetes, tyrfor etc.

- ❖ Este rompimento poderá ser suficiente para um toque do cabo Linnet desenergizado com o cabo Grosbeak energizado, causando o desarme do sistema.

## SVN -05

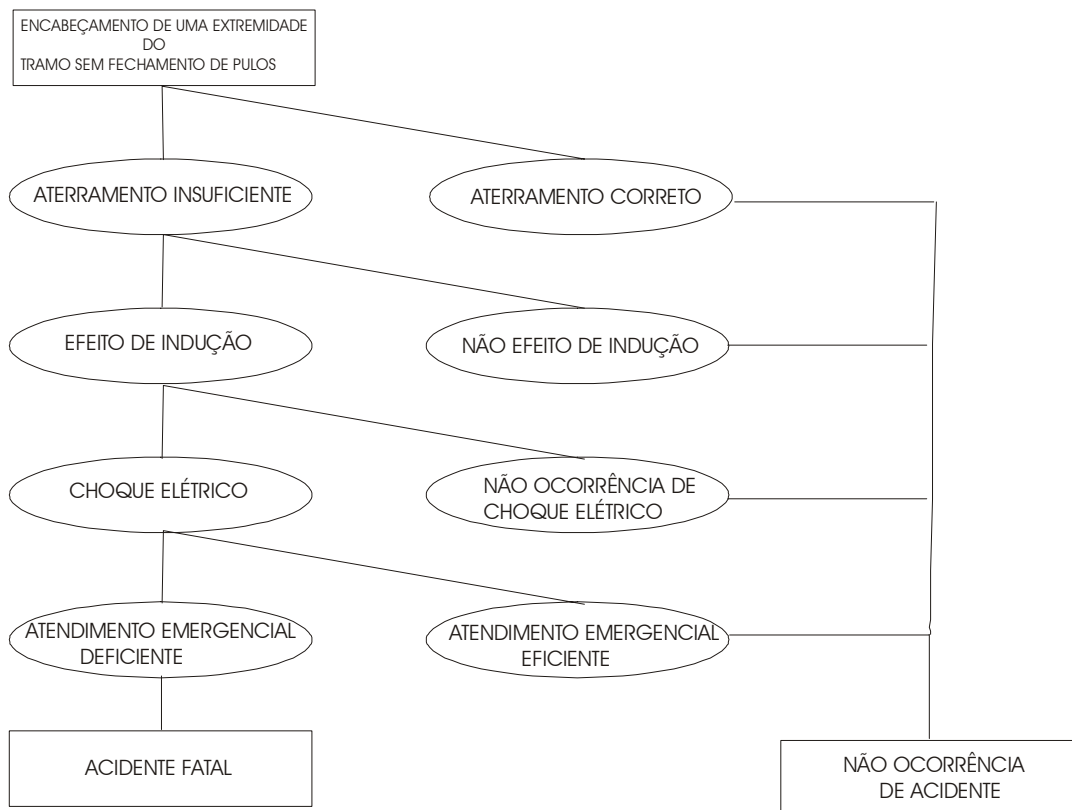


Figura 3.8 – SVN 05

Analisemos as etapas da SVN-05:

- ❖ O encabeçamento consiste na fixação do cabo Linnet na extremidade do tramo sem o fechamento da continuidade. É fundamental que se estejam utilizando o aterramento correto tanto na estrutura como nas roldanas
- ❖ O aterramento inadequado poderá provocar efeito de indução elétrica no cabo Linnet.
- ❖ Dependendo da intensidade e do contato do montador com o cabo Linnet e acessórios/ferramentas, pode ocorrer, por ação da indução, um choque elétrico de graves proporções.

- ❖ Na ocorrência do choque elétrico, o treinamento do pessoal em primeiros socorros é fundamental para se tentar manter vivo o acidentado até que tenha o atendimento em um hospital mais próximo.

#### **3.6.4 Nivelamento do cabo Linnet**

SVN -06

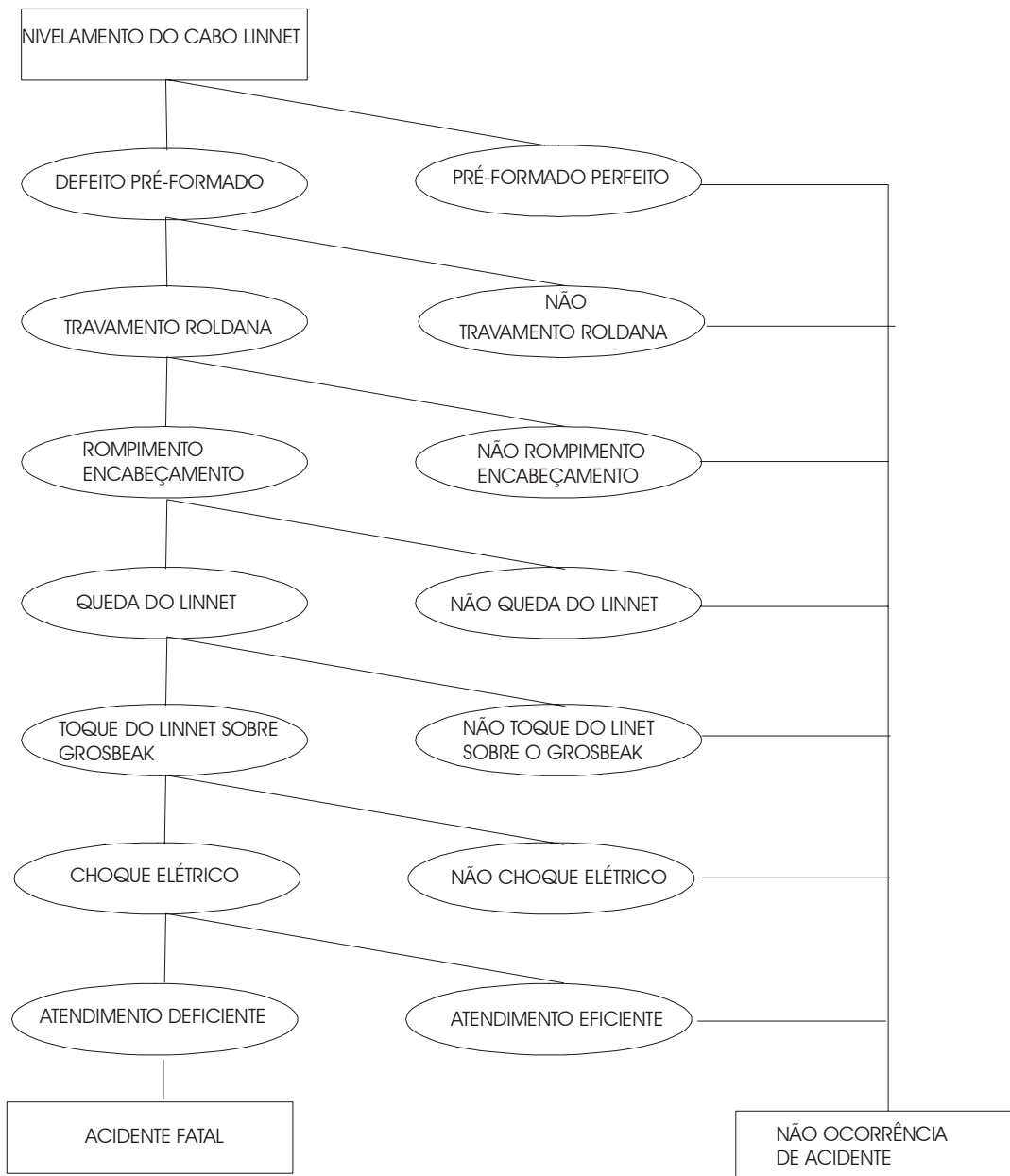


Figura 3.9 – SVN 06

Analisemos as etapas da SVN-06:

- ❖ O nivelamento é uma operação de tracionamento para colocação dos cabos em distâncias fixas um do outro. São instaladas varetas preformadas para ancoragem. Um defeito ou manipulação incorreta destes preformados poderá provocar travamento da roldana.
- ❖ O travamento da roldana poderá provocar o rompimento do encabeçamento com a quebra do preformado.
- ❖ Dependendo do rompimento, se total, o cabo Linnet poderá cair ou ficar retido na roldana.

- ❖ Dependendo da forma que o Linnet caia, poderá atingir o Grosbeak energizado.
- ❖ Com o contato, os acessórios e ferramentas serão energizados e o montador poderá sofrer um choque elétrico.
- ❖ Na ocorrência do choque elétrico, o treinamento do pessoal em primeiros socorros é fundamental para se tentar manter vivo o acidentado até que tenha o atendimento em um hospital mais próximo.

### SVN -07

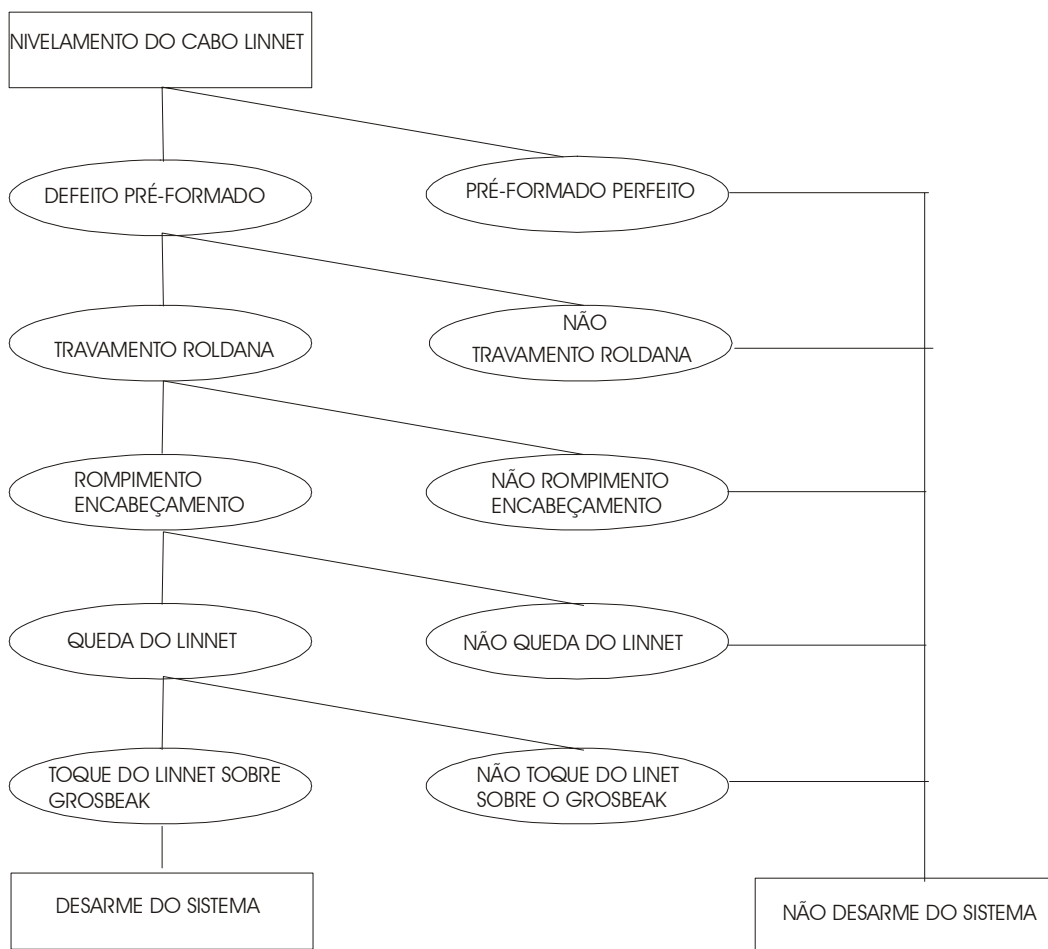


Figura 3.10 – SVN 07

Analisemos as etapas da SVN-07:

- ❖ O nivelamento é uma operação de tracionamento para colocação dos cabos em distâncias fixas um do outro. São instaladas varetas preformadas para ancoragem. Um defeito ou manipulação incorreta destes preformados poderá provocar travamento da roldana.

- ❖ O travamento da roldana poderá provocar o rompimento do encabeçamento com a quebra do preformado.
- ❖ Dependendo do rompimento, se total, o cabo Linnet poderá cair ou ficar retido na roldana.
- ❖ Dependendo da forma que o Linnet caia, poderá atingir o Grosbeak energizado.
- ❖ O contato do Linnet aterrado com o Grosbeak energizado provocará um curto circuito fase terra que desarmará o sistema.

### 3.6.5 Instalação de cadeias intermediárias e suplemento de Linnet

SVN -08

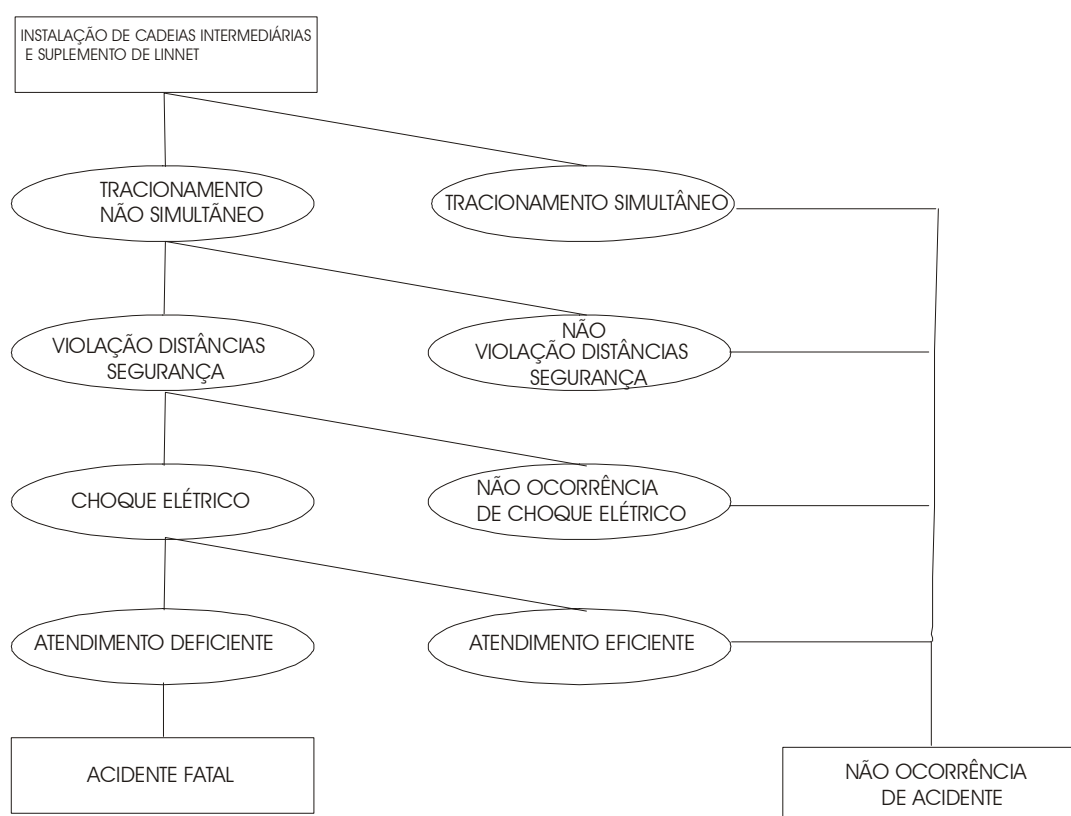


Figura 3.11 – SVN 08

Analisemos as etapas da SVN-08:

- ❖ Trata-se de uma operação de tracionamento para liberação do colo do Linnet para futura conexão. Para evitar o desnível do colo do Linnet, deve-se efetuar o tracionamento simultâneo no vão de frente e vão de ré.



- ❖ Desnível no tracionamento poderá fazer com que o colo do Linnet viole as distâncias de segurança em relação ao Grosbeak energizado.
- ❖ Caso o montador esteja em contato com o Linnet poderá sofrer uma eletrocussão.

#### SVN-09

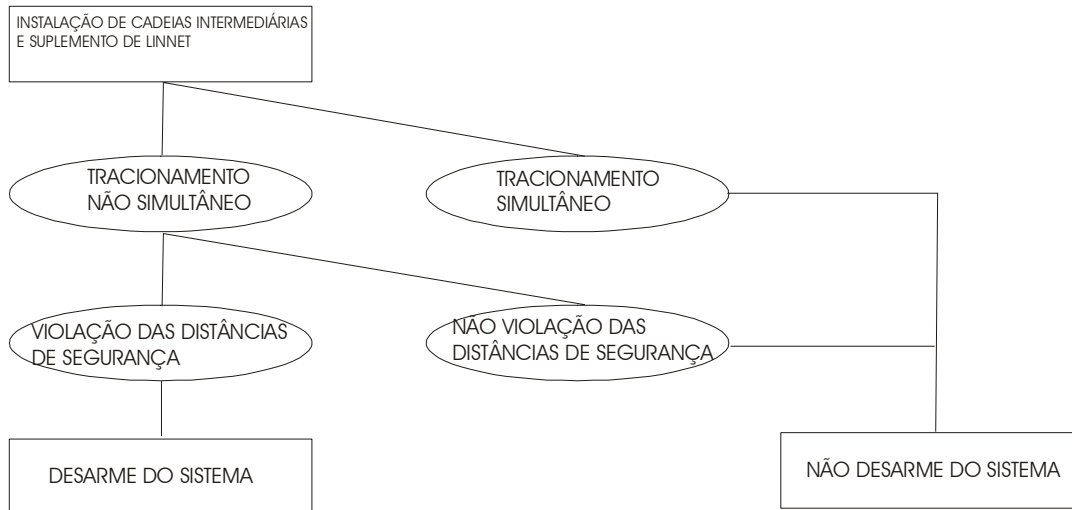


Figura 3.12 – SVN 09

Analisemos as etapas da SVN-09:

- ❖ Trata-se de uma operação de tracionamento para liberação do colo do Linnet para futura conexão. Para evitar o desnível do colo do Linnet, deve-se efetuar o tracionamento simultâneo no vão de frente e vão de ré.
- ❖ Desnível no tracionamento poderá fazer com que o colo do Linnet viole as distâncias de segurança em relação ao Grosbeak energizado.
- ❖ O contato do colo do Linnet aterrado com o Grosbeak energizado provocará um curto circuito fase terra que desarmará o sistema.

### **3.6.6 Aterramento do tramo de trabalho**

SVN -10

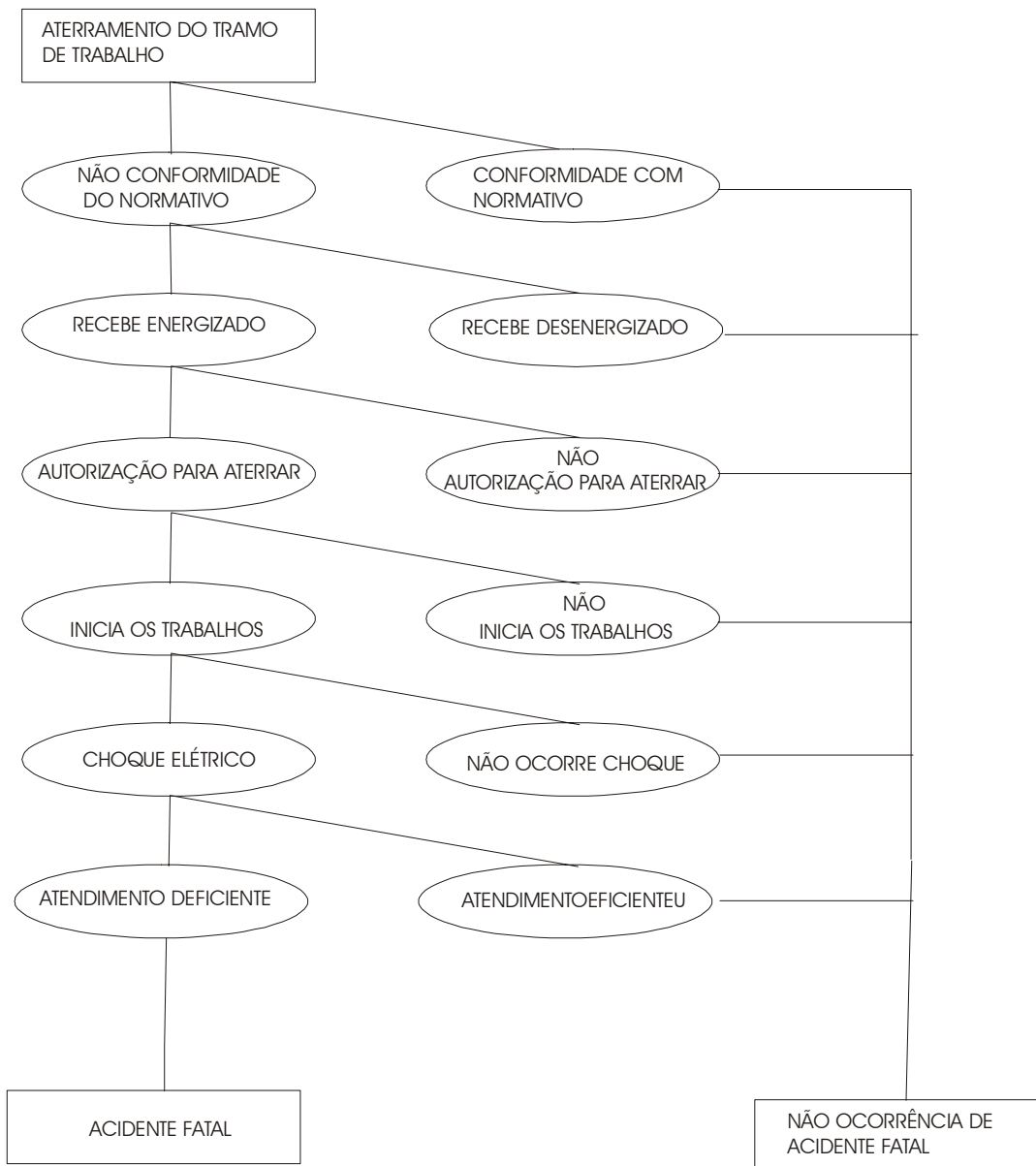


Figura 3.13 – SVN 10

Analise as etapas da SVN-10:

- ❖ Operação de recebimento da linha pela construção, liberada pela operação e aterramento do tramo de trabalho conforme estabelecido no plano de lançamento. Para este tipo de aterramento, existe normativo específico que instrui o passo a passo do procedimento.
- ❖ O não cumprimento a risca do normativo, poderá levar ao início do aterramento sem a devida desenergização da linha.

- ❖ O responsável pelo recebimento, decorrente da falha do cumprimento do normativo, poderá autorizar a equipe iniciar o aterramento sem a desenergização da linha concluída.
- ❖ A equipe poderá não checar as condições e iniciar os trabalhos com a linha ainda energizada.
- ❖ Um ou vários montadores poderão ser eletrocutados.
- ❖ Na ocorrência do choque elétrico, o treinamento do pessoal em primeiros socorros é fundamental para se tentar manter vivo o(s) acidentado(s) até que tenha o atendimento em um hospital mais próximo.

### SVN-11

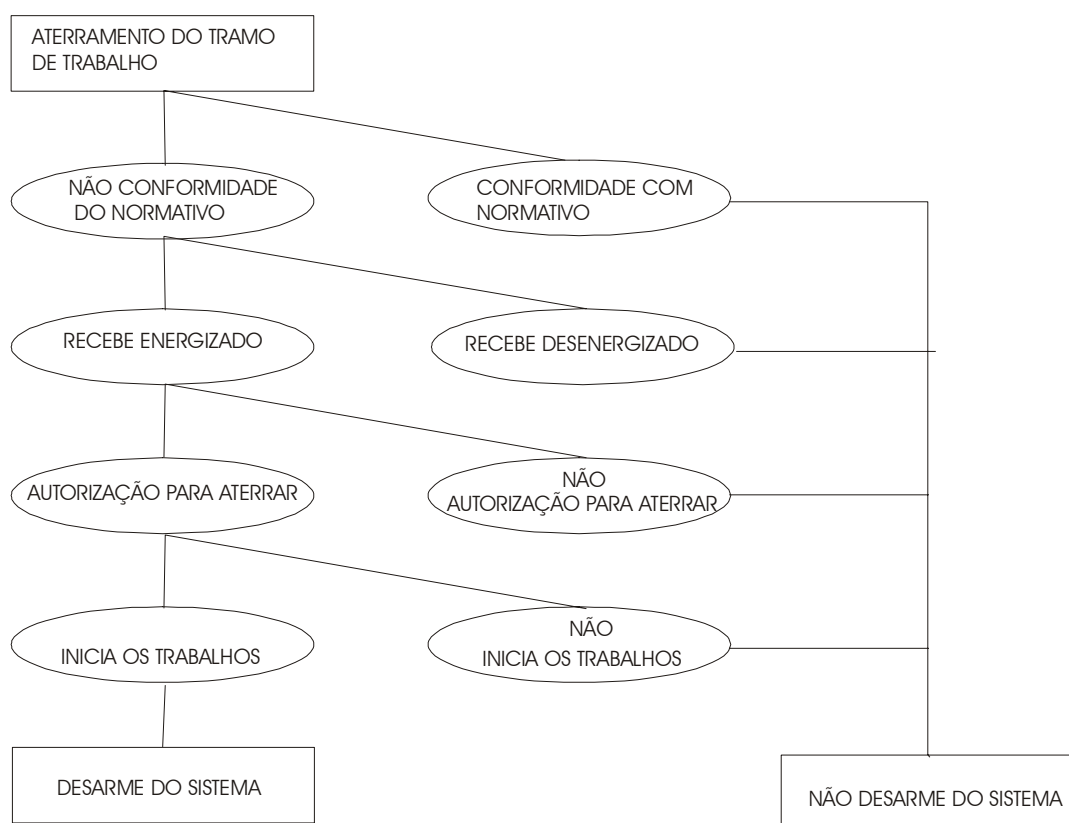


Figura 3.14 – SVN 11

Analisemos as etapas da SVN-11:

- ❖ Operação de recebimento da linha pela construção, liberada pela operação e aterramento do tramo de trabalho conforme estabelecido no plano de lançamento. Para este tipo de aterramento, existe normativo específico que instrui o passo a passo do procedimento.

- ❖ O não cumprimento a risca do normativo, poderá levar ao início do aterramento sem a devida desenergização da linha.
- ❖ O responsável pelo recebimento, decorrente da falha do cumprimento do normativo, poderá autorizar a equipe iniciar o aterramento sem a desenergização da linha concluída.
- ❖ A equipe poderá não checar as condições e iniciar os trabalhos com a linha ainda energizada, provocando um curto circuito fase terra e desarmando o sistema.

### 3.6.7 Encabeçamento definitivo da outra extremidade do tramo com fechamento de pulos

SVN-12

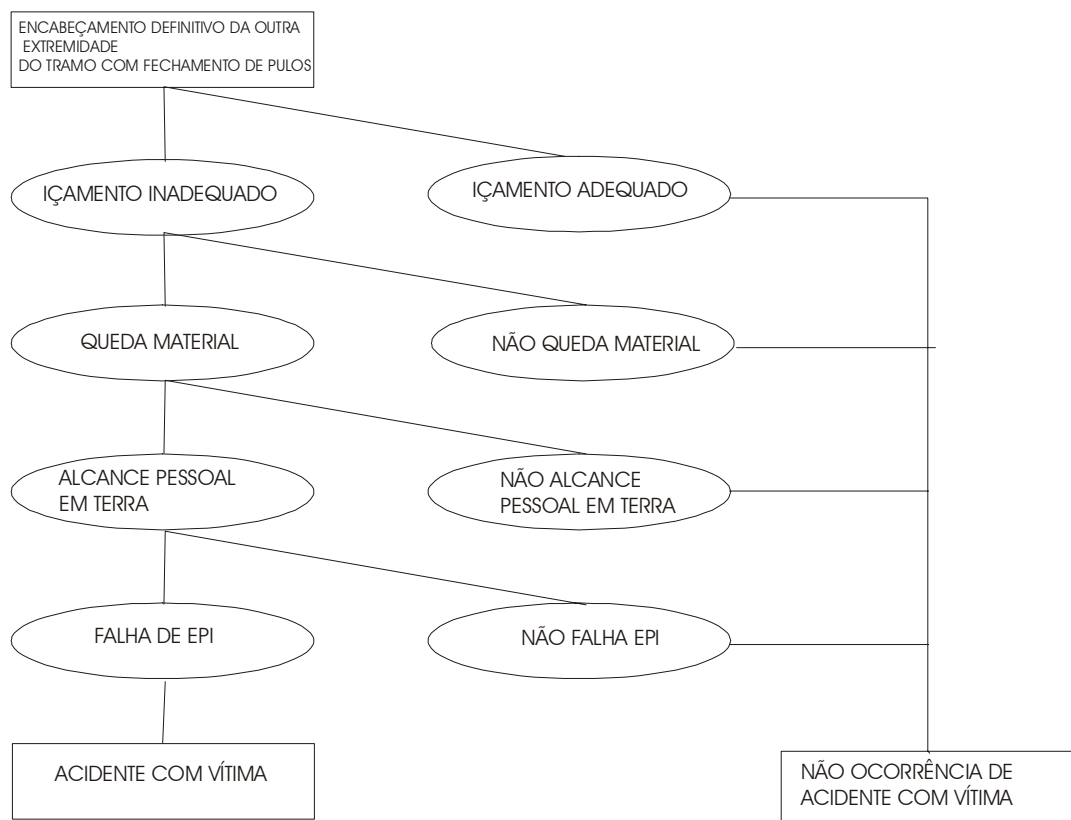


Figura 3.15 – SVN 12

Analisemos as etapas da SVN-12:

- ❖ Operação de encabeçamento posterior no caso das estruturas de ancoragem. Os procedimentos de içamento de materiais deverão ser realizados com as ferramentas e acessórios adequados com manutenção dentro dos prazos de vida útil.

- ❖ A inobservância das normas de segurança de içamento de material poderá provocar a queda de material.
- ❖ A queda de material poderá atingir os trabalhadores que ficam no apoio em terra embaixo da estrutura.
- ❖ A falta e/ou falha do EPI poderá acarretar um acidente com vítima.

### 3.6.8 Instalação de pulos de conexão Linnet-Grosbeak nas fases lateral e central

SVN-13

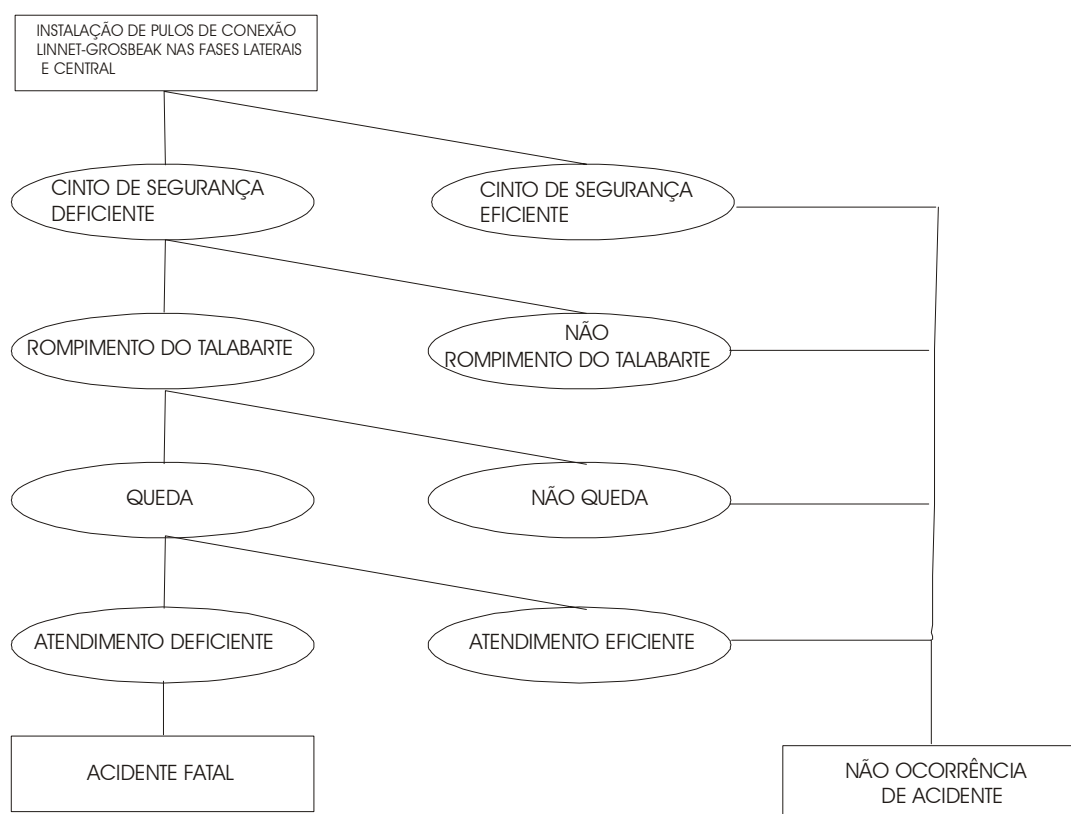


Figura 3.16 – SVN 13

Analisemos as etapas da SVN-13:

- ❖ Nesta operação de fechamento dos pulos de conexão, a correta inspeção dos equipamentos de proteção individual, principalmente o talabarte do cinto de segurança ou as fitas de ancoragem, devem ser feitas com rigor.
- ❖ A ocorrência de rompimento do talabarte poderá levar o montador a cair, acidentando-se. Como as alturas são de cerca de 30 a 35 metros, esta queda poderá ser fatal.

- ❖ Na ocorrência da queda, o treinamento do pessoal em primeiros socorros é fundamental para se tentar manter vivo o(s) acidentado(s) até que tenha o atendimento em um hospital mais próximo.

### **3.6.9 Ajuste das trações para correção do creep**

SVN-14

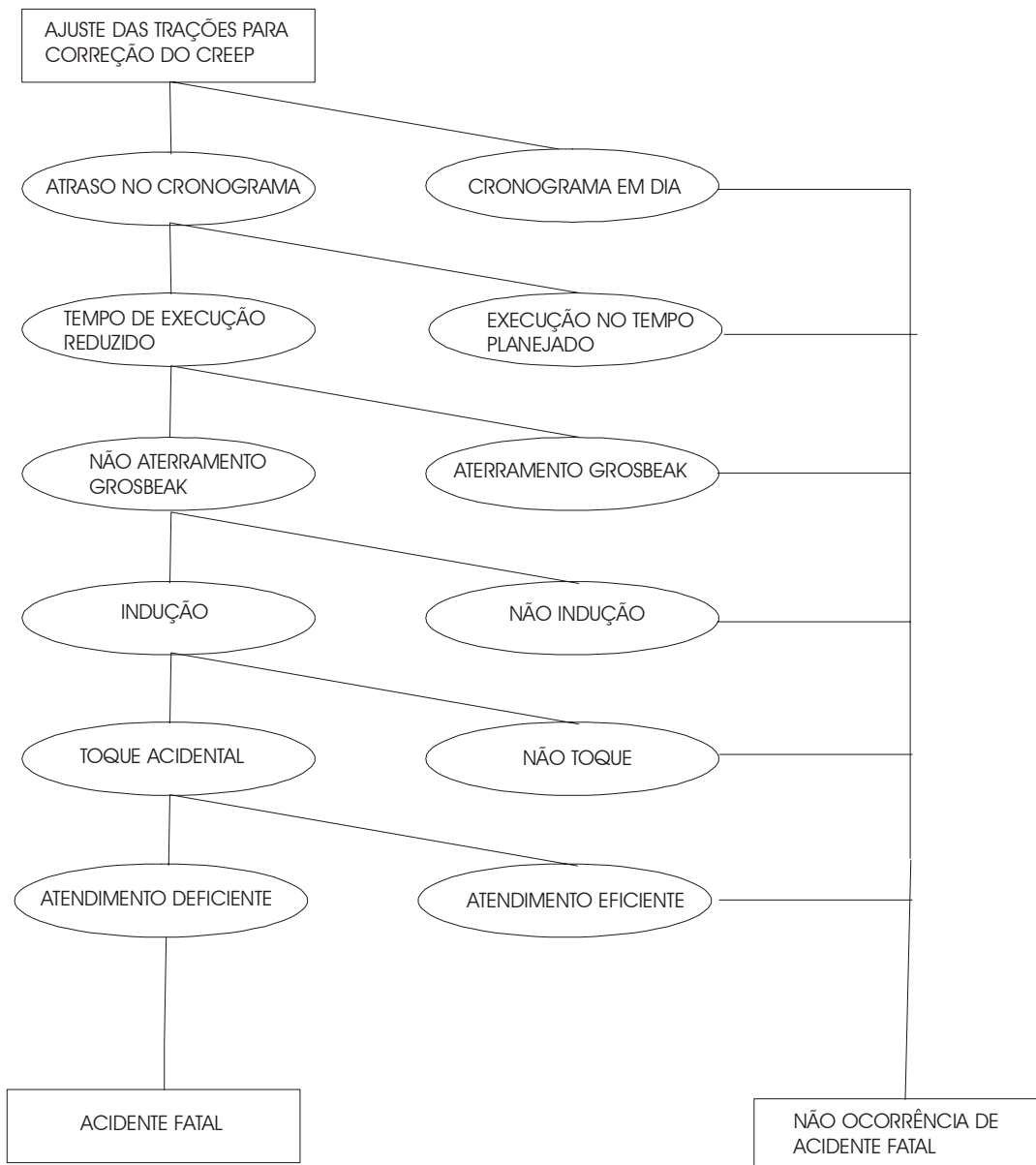


Figura 3.17 – SVN 14



Analisemos as etapas da SVN-14:

- ❖ Esta operação de tracionamento dos grampos tensores para a correção do creep, deve ser feita com bastante sensibilidade em relação ao tempo de execução, pois como está no final do processo costumam ocorrer aceleração dos trabalhos no sentido de corrigirem-se atrasos de cronograma.
- ❖ Para se ganhar tempo aterra-se apenas o Linnet, deixando o Grosbeak desenergizado e sem aterramento.
- ❖ Poderá surgir efeito de indução no Grosbeak devido a linhas paralelas.
- ❖ A proximidade do Linnet e do Grosbeak é de cerca de 60cm o que poderá levar o montador a tocar acidentalmente no Grosbeak com indução
- ❖ O toque acidental provocará uma eletrocussão no montador.
- ❖ Na ocorrência da queda, o treinamento do pessoal em primeiros socorros é fundamental para se tentar manter vivo o(s) acidentado(s) até que tenha o atendimento em um hospital mais próximo.

### 3.6.10 Retirada de aterramento do tramo de trabalho e devolução da linha

SVN-15



Figura 3.18 – SVN 15

Analisemos as etapas da SVN-15:

- ❖ Nesta etapa os trabalhos já estão praticamente concluídos e devem-se retirar os aterramento temporários para a devolução da linha.
- ❖ Como são muitos pontos de aterramento pode-se deixar algum ponto aterrado.

- ❖ Caso a verificação não seja completa, pode-se devolver a linha para reenergização com algum ponto aterrado.
- ❖ A devolução da linha com algum ponto aterrado acarretará um curto circuito que desarmará o sistema.

### 3.6.11 Retirada de empancadura e estaiamentos provisórios

SVN-16



Figura 3.19 – SVN 16

#### Analisemos as etapas da SVN-16

- ❖ A desmontagem das empancaduras e estaiamentos provisórios é a etapa final do processo. Muitas vezes se deixa postes de empancadura para retirar depois no afã de se começar outro tramo.
- ❖ Deixando-se postes de empancadura, por curiosidade, alguém da comunidade poderá subir neste poste.
- ❖ Dependendo de quanto se suba, poderá ser violada a distância de segurança e o terceiro ser eletrocutado, podendo ser fatal.

#### SVN-17

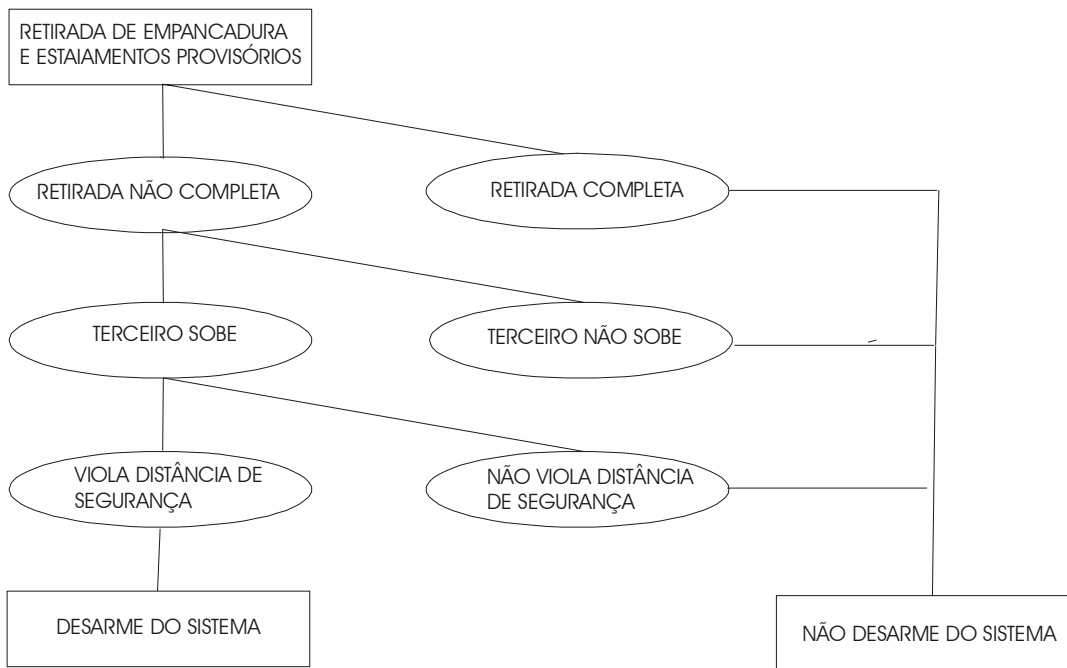


Figura 3.20 – SVN 17

Analisemos as etapas da SVN-17

- ❖ A desmontagem das empancaduras e estaiamentos provisórios é a etapa final do processo. Muitas vezes se deixa postes de empancadura para retirar depois no afã de se começar outro tramo.
- ❖ Deixando-se postes de empancadura, por curiosidade, alguém da comunidade poderá subir neste poste.
- ❖ Dependendo de quanto se suba, poderá ser violada a distância de segurança e o através do terceiro sendo eletrocutado, ocorrer o desarme do sistema.

No próximo capítulo iremos iniciar as discussões para propormos uma modelagem dos diagramas lógicos que nos permitam estudar os aspectos quantitativos.

## 4 ASPECTOS QUANTITATIVOS DOS DIAGRAMAS LÓGICOS

### 4.1 Introdução

No capítulo anterior, pudemos identificar qualitativamente, através dos diagramas lógicos CVN/SVN uma série de perigos que podem levar ao insucesso da recapitação da LT com a técnica de feixe expandido.

Neste capítulo, iniciaremos estudos no sentido de mostrar como os diagramas lógicos podem se prestam a uma análise quantitativa. Não é nosso objetivo apresentar um estudo completo e conclusivo, porém iniciar as discussões.

Consideremos a definição de risco apresentada pela AIChE [13] como sendo a probabilidade de possíveis danos num intervalo de tempo ou número de ciclos operacionais. Para adaptarmos esta definição para as CVN/SVN, consideremos cada etapa da CVN como um ciclo operacional, cada rota da SVN como sendo a distribuição de probabilidades considerando os eventos que constam na rota. Definimos o risco do evento como sendo a probabilidade de sucesso/insucesso referente ao evento considerado na etapa da CVN. Assim poderemos definir risco da rota : a distribuição de probabilidades de sucesso/insucesso referente à rota considerada da SVN na etapa da CVN.

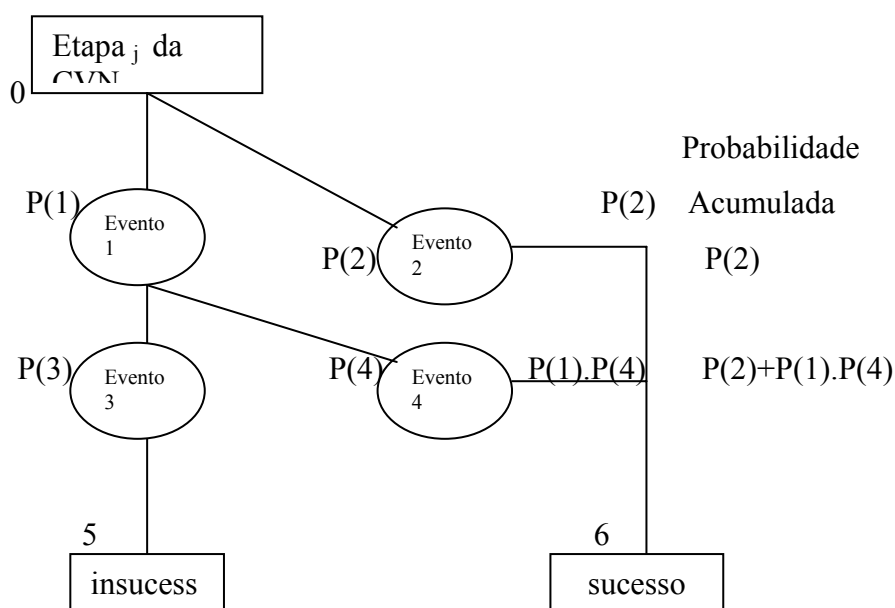


figura 4.1 – SVN quantitativa

Risco da rota  $i$  = expressa a distribuição de probabilidades referente à rota  $i$  da SVN considerada na etapa  $j$  da CVN.

Etapa  $j$  da CVN = corresponde a um ciclo operacional

Rota  $i$  da SVN = corresponde à distribuição de probabilidades considerando os eventos que constam na rota  $i$ . Ex: a rota 0-1-4-6, possui os eventos 1 e 4.

Risco do evento  $k$  = corresponde à probabilidade de ocorrência do evento  $k$  na etapa  $j$  da CVN.

Para se incorporar uma análise quantitativa, poderemos utilizar informações de um banco de dados de ocorrências passadas, onde poderíamos colher riscos das rotas das SVN. Outra opção é a utilização da opinião de especialistas que apresentarão o seu conhecimento a priori dos riscos dos diversos eventos. Incorporando tempo de execução dos eventos e custo de cada evento, poderemos criar um conjunto multicritério de sugestões, considerando as diversas rotas apresentadas. A escolha das rotas mais viáveis, sob os critérios de tempo, custo e risco é que irá permitir ao decisor implementar medidas que possam conduzir a recapacitação dentro de parâmetros aceitáveis pela organização.

Conforme mostramos no capítulo 3, para cada etapa do processo de recapacitação, poderão ser construídas tantas SVN quanto se queira aprofundar na identificação dos perigos. No nosso caso, para várias das 12 etapas (5 a 16), construímos duas SVN. Calculando o conjunto união das duas SVN (ver o item 4.3 adiante) para cada etapa (nas que tivermos duas SVN), teremos o conjunto de rotas de sugestões de ações de cada etapa. Transferindo para a CVN, teremos a composição das diversas etapas (ciclos operacionais) que compõem o processo. Cada etapa terá o seu conjunto de sugestões de ações, com os critérios de tempo, custo e risco apresentados nas diversas rotas estudadas. A integração destes conjuntos de soluções de ações compostos através da CVN, comporá um conjunto maior, de decisão que ajudará o decisor na visualização e comunicação do empreendimento com um todo. Assim como estudamos as rotas nas SVN, estudaremos também as rotas na CVN, considerando os riscos, de acordo com as rotas escolhidas nas diversas SVN das etapas.

No nosso caso da recapacitação da LT com a técnica de feixe expandido, não possuímos banco de dados com os riscos das rotas, pois se trata de um processo novo. Desta forma recorreremos à segunda possibilidade que é colher a opinião de especialistas sobre os riscos dos diversos eventos. Antes de apresentarmos a aplicação da utilização da opinião de especialistas, vamos mostrar algebricamente como poderemos introduzir os conceitos quantitativos nos novos diagramas lógicos.

## 4.2 Aspectos Quantitativos

Tomamos o processo de trás para frente. Primeiro colhemos os dados com os riscos de sucesso ou insucesso de cada SVN (quando tivermos mais de uma) para cada etapa, começando pela primeira. Como exemplo tomemos a SVN mostrada na Figura 4.2

Numerando os eventos de 0 a 10, temos várias rotas que poderão levar ao sucesso ou insucesso da etapa 5 – Lançamento cabo piloto, conforme está no capítulo 2 e no capítulo 3 item 3.4 . A primeira rota de sucesso, 0-2-10, chamaremos de P(2). que é o risco de sucesso da etapa 5 pela ocorrência do evento 2, no caso, bom acompanhamento do lançamento do cabo piloto. O bom acompanhamento do cabo piloto poderá não levar a ocorrência de acidente com vítima. A última rota de sucesso é a 0-1-3-5-8-10, que aposta no não contato do trabalhador com o cabo energizado, apesar de terem ocorrido todos os insucessos dos eventos anteriores.

A pergunta a ser feita ao especialista é: No lançamento do cabo piloto qual a probabilidade (0 a 1) de se ter um bom acompanhamento durante o lançamento (etapa = ciclo operacional)? Este número será o P(2). Chamemos de PSA o risco acumulado. Assim para a primeira rota  $PSA1 = P(2)$ .

Passemos para a próxima rota: admitindo-se assumir o risco de um mau acompanhamento P(1), qual a probabilidade de não ocorrer enroscamento do cabo piloto no leito da faixa de servidão? Este número será P(4). Estabelecendo então a rota 0-1-4-10, teremos que o risco acumulado para a segunda rota será:  $PSA2 = P(2) + P(1).P(4)$ . Continuando o nosso raciocínio, teremos várias rotas com os respectivos eventos e riscos acumulados. Com o estudo destas rotas criaremos um conjunto de soluções de ações. Incorporando os custos e tempo envolvido em cada rota estudada, teremos um conjunto multicritério (tempo, custo e risco) de soluções de ações.

Por exemplo, consideremos que um bom acompanhamento do lançamento do cabo piloto (rota 0-2-10), tenha um custo de \$20.000, que sua implementação gaste um tempo 10 horas e que mesmo se gastando este dinheiro e se gastando este tempo, o risco de um mau acompanhamento, seja de 0,1. A segunda rota (0-1-4-10) : abandonamos o bom acompanhamento do lançamento do cabo piloto e para que não haja um enroscamento, precisamos gastar \$12.000 e um tempo de 15 horas, com um risco de insucesso de 0,15. Qual a melhor rota a ser seguida? E se considerarmos todas as possíveis rotas? Trata-se de uma escolha multicritério que poderemos usar as várias ferramentas disponíveis. É uma sugestão para futuros trabalhos que apresentamos no capítulo 5.

Uma rota em particular deveremos considerar. A rota 0-1-3-5-7-9 que representará o pior caso que é a sucessão de eventos de insucesso que levarão a um acidente com vítima.



Este pior caso é o que tomaremos como o risco de insucesso da SVN. Este risco chamaremos de PSVN-A

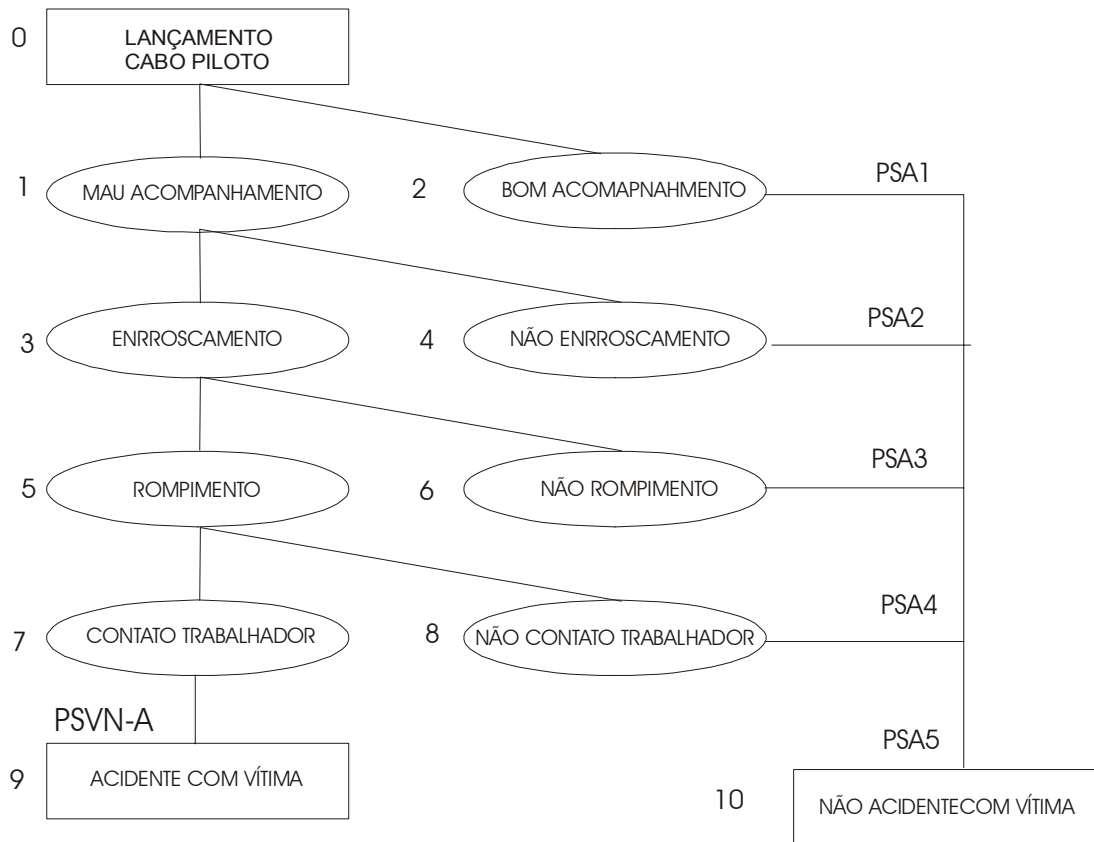


Figura 4.2 - Primeira SVN da etapa 5

Observemos que existe uma segunda SVN (Figura 3.7) cujo rota crítica nos levará ao desarme do sistema. Chamemos esta rota crítica de PSVN-B. Sabemos que existe também o risco da ocorrência simultânea das duas situações, isto é : poderá ocorrer uma, a outra ou as duas simultaneamente. É fácil perceber que a ocorrência das duas ao mesmo tempo representa uma situação ainda mais crítica, pois teremos a desarme do sistema, associado com um acidente fatal.

Ora se tivermos mais de uma SVN em cada etapa conforme vimos no item 4.1, teremos que compor estes riscos através da união entre eventos probabilísticos, como veremos a seguir.

### 4.3 Adição de Probabilidades [16]

Sejam A e B dois eventos do espaço amostral. Então :

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$$

Esta regra poderá ser generalizada para um número qualquer de eventos N.

No caso dos dois eventos serem disjuntos, a intersecção se reduz a conjunto vazio e a probabilidade associada passará a ser simplesmente a adição das duas probabilidades. Entretanto em muitas situações práticas, a informação do que ocorreu numa SVN, pode influenciar nas chances de ocorrência das outras dentro de uma mesma etapa, neste caso temos probabilidade condicional :

Sejam A e B dois eventos, a probabilidade condicional de A dado que ocorreu B é representada por  $P(A|B)$  e é dada por :

$$P(A|B) = P(A \cap B) / P(B), \text{ sendo } P(B) > 0,$$

podemos definir desta expressão acima a regra de produto de probabilidade como sendo:

$$\mathbf{P(A \cap B) = P(A|B) P(B)}$$

Assim voltando à regra de adição de probabilidades, poderemos ter:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A|B) P(B)$$

Que será a expressão que iremos utilizar para considerarmos a união de duas SVN para uma mesma etapa.

Considerando no nosso caso, as duas rotas críticas das duas SVN, poderemos compor o risco de rota crítica da etapa 5.

Tomemos PSVN-A, como sendo o risco da rota crítica na primeira SVN que levará a um acidente fatal. Tomemos PSVN-B como sendo o risco da rota crítica na segunda SVN que levará ao desarme do sistema. Claramente observamos que existe uma condicionalidade na ocorrência das duas, isto é: em se ocorrendo um desarme do sistema, o acidente fatal é muito provável, teremos que estimar com os especialistas esta condicionalidade que chamaremos de

PSVN-A | PSVN-B, aplicando a teoria de adição de probabilidades, teremos o risco de insucesso, escolhendo a rota crítica, da etapa 5 lançamento do cabo piloto.

Seja P(1) o risco de insucesso da etapa 5 – Lançamento de cabo piloto (ver figura 4.2)

$$P(1) = (PSVN-A) + (PSNV-B) - (PSVN-A | PSVN-B). (PSVN-B)$$

Os riscos de sucesso, P(2) figura 4.2, formarão um conjunto de soluções de ações baseado no estudo das diversas rotas.

Utilizando a mesma metodologia para as outras etapas da recapacitação da LT com a técnica de feixe expandido, construiremos a CVN apresentada na figura 4.3. O estudo das várias rotas nas SVN e CVN, nos permitirá construir um conjunto de soluções de ações.

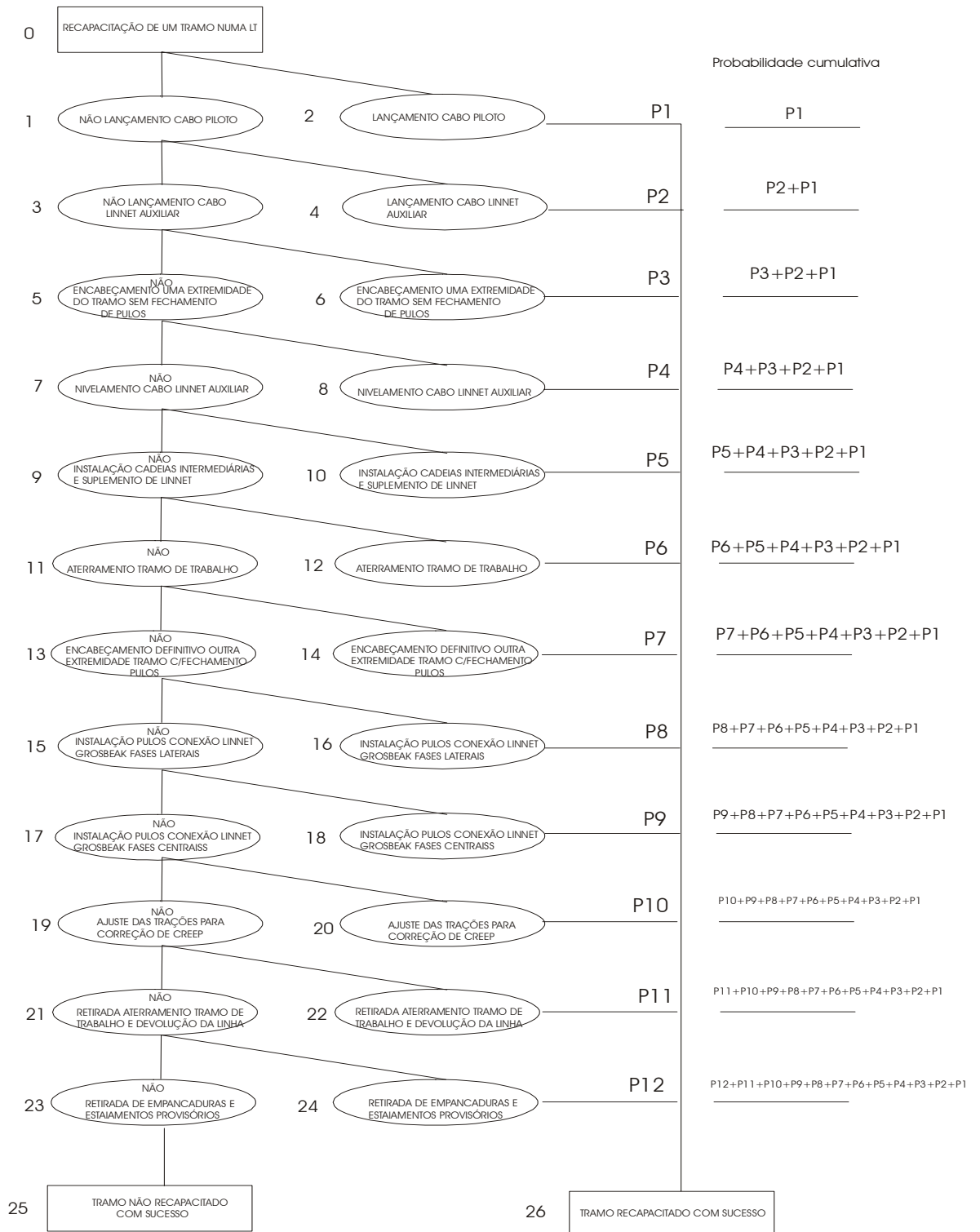


Figura 4.3 – Continuous Value Network

**As rotas críticas de insucesso das etapas, calculadas a partir das SVN, estarão no lado esquerdo da CVN, P(1); P(2); ...P(23). A composição destas, mostrará o caso crítico do risco de todo o empreendimento não ser realizado com sucesso, P(25). Se este número for bastante baixo, poderá ser uma decisão, provavelmente a de menor custo, mas com maior risco de insucesso.**

**No próximo item, devido à inexistência de banco de dados disponível, iremos colher a opinião de especialistas da própria CHESF.**

#### **4.4 A Opinião dos Especialistas**

Utilizamos a opinião de dois especialistas Engenheiros da CHESF – Companhia Hidro elétrica do São Francisco que estiveram e estão diretamente ligados aos trabalhos de estudos, projeto, experimento e construção da recapacitação de dois empreendimentos completos, A Recapacitação da LT Banabuiú/Fortaleza, no estado do Ceará com 180km em 230KV e a LT Paulo Afonso na Bahia até Banabuiú no Ceará com 480Km em 230KV.

O primeiro especialista é o Engenheiro Civil Roberval Luna da Silva, engenheiro civil em 1972 pela UFPE - Universidade Federal de Pernambuco. Especialista em Linhas de Transmissão desde 1977 e na CHESF desde 1979, tendo sido um dos projetistas e experimentadores do projeto piloto e engenheiro responsável pelas duas recapacitações efetuadas.

O segundo especialista consultado é o Engenheiro Eletricista José Sarmiento Sobrinho, engenheiro eletricista em 1980 pela UFPB – Universidade Federal da Paraíba. Desde 1980 atua como Engenheiro de manutenção de linhas de transmissão na CHESF, tendo participado de todos os estudos, experimentos e construção de recapitação de linhas de transmissão.

Para obtermos a opinião dos especialistas, construímos tabelas associando as SVN construídas, descritas no capítulo 3. Estas tabelas foram divididas levando em consideração a ordem do processo descrita no capítulo 3 e agrupando as SVN associadas a um mesmo processo. Em alguns casos foram construídas duas SVN para um mesmo processo. Nestes casos utilizamos a teoria de adição de probabilidades que descrevemos em 4.3.

As tabelas foram apresentadas aos especialistas de forma separada, em momentos distintos e sem o conhecimento prévio de um ou outro das informações prestadas. Desta forma garantimos que cada especialista apresentou sua opinião sem contudo sofrer influência da opinião do outro.

No momento da apresentação das tabelas nós procuramos explicar a metodologia tirando todas as dúvidas dos especialistas de forma que eles puderam opinar estritamente dentro do seu conhecimento a priori, sem nenhuma preocupação com a metodologia.

Foi solicitado a cada especialista que apresentasse sua estimativa da ocorrência de cada evento considerado na tabela, levando em consideração o encadeamento lógico apresentado nas SVN. A descrição de cada evento está explicitada tanto nas SVN construídas, apresentadas no capítulo 3, quanto na descrição do processo apresentado no capítulo 2.

Antes de passarmos a coleta dos dados vamos tecer algumas considerações a respeito dos fatores que influenciam na decisão do especialista.

**Quando montamos as SVN através das tabelas de estimativas fornecidas pelos especialistas, chegamos a um conjunto de soluções de ações que representa o risco de um encadeamento de eventos seqüenciais e o seu respectivo complemento ou, não ocorrência. Este conjunto de soluções de ações, representa o risco de sucesso ou seu complemento, o risco de**

**insucesso para uma dada etapa do processo de recapacitação de um tramo de trabalho de uma Linha de Transmissão. Por sua vez os conjuntos de soluções de ações das etapas dependentes encadeados na CVN, nos leva aos riscos de sucesso ou insucesso do empreendimento. A análise das rotas a partir da CVN, através do conhecimento dos riscos de insucesso do empreendimento, torna-se uma ferramenta de decisão poderosíssima, quando se decide o que é tolerável e o que compromete a missão do empreendimento conforme foi visto no capítulo 3, no entendimento do problema (item 3.2).**

Todo este encadeamento, entretanto, foi levado adiante dentro da incerteza que carrega a estimativa dos especialistas.

Empreendimentos deste tipo como uma recapacitação de Linha de Transmissão, envolvem somas grandiosas de dinheiro além de tempo, insumos ambientais e vidas humanas. Desta forma surge à pergunta de como podemos reduzir ou minimizar as incertezas que estão dentro das estimativas dos especialistas. Como podemos auxiliar o decisor, na sua tarefa de apresentar um empreendimento com riscos calculados e aceitáveis de forma que possamos maximizar os insumos e minimizar os impactos.

*“Lidar com a incerteza é uma coisa para a qual todas as formas de vida devem estar preparadas. Qualquer que seja o nível de complexidade biológica do organismo em questão, existe sempre algo que pode ser interpretado como incerteza não apenas a respeito do significado dos sinais ou estímulos que a ele chegam como também das possíveis conseqüências das ações que pode efetuar. Para todo sistema intencional (dotado de algum objetivo), contudo, a ação necessária precisa ser tomada antes de resolvida à incerteza,*

*devendo, portanto, ser atingido o equilíbrio adequado entre um alto nível de prontidão específica para os eventos de ocorrência mais verossímil e uma capacidade geral de reagir adequadamente quando o inesperado acontece”.*

*Na espécie humanas, muitas das decisões tomadas na vida cotidiana são baseadas em crenças que dizem respeito à verossimilhança de eventos incertos.*

*Em muitas situações reais, especialmente em problemas de decisão com opções contínuas de ação (por exemplo investir X reais em algum negócio), erros grosseiros na avaliação da probabilidade de sucesso fazem relativamente pouca diferença no ganho esperado. No entanto, é preciso estar atento para os dois tipos de situação que podem muito bem ocorrer. Primeiramente, pode ser que, numa situação de duas alternativas, a função utilidade seja bastante íngreme na região crucial. Suponha, a título de ilustração, que um determinado médico deva decidir a probabilidade de que um certo paciente tenha a condição clínica A e que, logo, deve receber o tratamento A, versus ter a condição B e receber o tratamento B. Suponha ainda que as utilidades nesta situação são tais que o tratamento A é melhor se a probabilidade de que o paciente tenha a condição A for maior ou igual a 0,4; noutros casos sendo melhor o tratamento B. Se o médico estima a probabilidade de que o paciente tenha a condição A como sendo  $P(A) = 0,45$ , mas tem uma calibração ruim, pois, de fato, a probabilidade é 0,25, então adotará o tratamento A ao invés do tratamento B, e o paciente perderá uma boa fatia de utilidade esperada. Segundo, nas situações em que as conseqüências (determinísticas) são muito grandes, os erros de avaliação de probabilidade são exagerados ou quando tais erros se compõem (eventos conjuntos), a perda esperada avulta-se mais do que substancialmente. Uma das maneiras de tentar resolver ou evitar esses problemas é procurar calibrar externamente o especialista (vide Lichtenstein, Fischhoff e Phillips, (1985)).*

*A distinção entre julgamento e tomada de decisão nem sempre é clara. Tradicionalmente, os psicólogos concentram os seus estudos em torno da questão do julgamento mais do que no problema da escolha; porém os estudos mais recentes na área de Psicologia Cognitiva tem abordado o assunto de uma forma mais abrangente (vide Fischhoff (1988)). A proposta da Teoria da Decisão, porém, é cartesiana, e, após estudar separadamente os dois aspectos, ou seja, julgamento (conhecimento a priori) e preferência (função utilidade e construtos correlatos), reúne-os num só paradigma concentrando o pensamento em crenças e ações. O que determina tais crenças? Como as pessoas avaliam a probabilidade de um evento incerto ou o valor de uma quantidade incerta? Estudos em cognição tem mostrado que as pessoas contam com um número limitado de princípios*



*heurísticos que elas utilizam para reduzir tarefas muito complexas de avaliação de valores e probabilidades a operações mais simples de comparação e julgamento. Em geral, essas heurísticas são muito úteis, mas algumas vezes levam a erros graves e, o que é pior, sistemáticos.”[18]”.*

Quando utilizamos os conceitos de probabilidades para estudar informações coletadas de pessoas, estamos no campo das probabilidades epistêmicas, que descrevem os graus de crença parcial lógicos ou psicológicos de uma pessoa ou sistema intencional (Fine 1973 e Walley 1991).

*“Uma série de fenômenos psicológicos aparecem quando se tenta eduzir o conhecimento a priori de um especialista. Efeitos de representatividade, de disponibilidade, efeitos mneumônicos de” ancoragem “psicológica, expectativas passivas e ativas, permanente e transitórias, o locus da incerteza, a percepção (entendimento) do conceito de probabilidade, vieses imaginabilidade, recuperabilidade de instâncias, eficácia de um conjunto de busca, correlação ilusória, na avaliação de eventos conjuntivos, na avaliação de eventos disjuntivos, o entendimento dos enunciados dos questionários de educação, etc., são fenômenos que tem sido estudados pelos psicólogos da área cognitiva. Existem várias heurísticas. É preciso levá-los em conta, para se tentar minimizar os vieses, imprecisões e artefatos que os mesmos podem causar.” [18]*

*“Em suma, é muito difícil estabelecer-se um modelo probabilístico que seja universalmente aceito e abranja todas as nuances da questão da incerteza. Um melhor approach é a elaboração de novos construtos, mais ricos, que possa captar mais dimensões desse fenômeno.” [18]*

No processo que estamos analisando, como em outros, chamados de eventos raros por Winkler e Murphy [17] , que além de serem inovações apresentadas, de qualquer forma apresentam dados empíricos relevantes bastante escassos, temos que recorrer ao conhecimento a priori de especialistas apesar das incertezas.

**Entretanto poderemos utilizando alguns métodos para educação, dar um cunho mais probabilístico e um formalismo matemático que nos possa apresentar melhor os dados para o sistema de decisão.**

“Duas medidas de qualidade para elicitación e o uso da opinião de especialistas são” *substantive goodness* “e” *normative goodness* “.” *Substantive goodness* “se refere ao conhecimento do especialista relativo ao problema em questão.” *Normative goodness* “, por outro lado, se refere à habilidade do especialista em expressar aquele conhecimento de acordo com o cálculo de probabilidades, em estreita correspondência com sua atual opinião. Dependendo da situação, um ou outro tipo de” *goodness* “predomina.” [17]

**Outro ponto importante é que o método utilizado para se eduzir um especialista pode ter significativo efeito na precisão do resultado estimado e que algumas das técnicas mais comuns para combinar estimativas de diferentes fontes, isto é o uso de grupos não estruturado em busca de consenso, tendem a baixa precisão se comparado a outras técnicas mais simples.**

De maneira geral, a literatura em uso para a opinião de especialistas, pode ser dividida em duas grandes áreas:

- ❖ Técnicas para aumentar a precisão das estimativas obtidas de um especialista (geralmente também aplicada para vários especialistas)
- ❖ Técnicas para agregar a opinião de vários especialistas.

Sabemos que a opinião de qualquer pessoa sobre um determinado julgamento, carrega um número de vícios e vieses. Tversky e Kahneman e Hogarth [17] nos mostram que dois destes vieses são particularmente importantes para a análise de riscos:

- ❖ A possibilidade de sistemática superestimação ou subestimação;
- ❖ Superconfiança

Várias causas possíveis de desvios sistemáticos tem sido identificadas; estas incluem a disponibilidade e falta de representatividade heurística. Também existe a tendência a se superestimar extremamente baixos riscos e subestimar riscos altos. No caso da superconfiança, os estudos nos mostram que um especialista não tende a ser menos superconfiante que uma pessoa comum. Armstrong [17] conclui que o sentimento de especialista aumenta a confiança, não a precisão, o que pode nos levar a crer que especialistas tendam a ser mais superconfiantes que as pessoas comuns.

Duas das técnicas que tem sido sugeridas para aumentar a qualidade da opinião educada, são especificamente designadas para reduzir a superconfiança. A primeira destas é treinando a calibração, que envolve feedback na extensão da superconfiança que foi exibida na avaliação anterior. A segunda tenta encorajar o especialista para identificar evidências que tendam a contradizer sua opinião anterior.

O resultado da avaliação destas pesquisas indica que estas técnicas são moderadamente eficientes, isto é : não eliminam completamente a superconfiança, porém reduzem a extensão do problema.

Outra forma para melhorar a qualidade da educação da opinião de especialistas é melhorar a formulação das questões. Raiffa e Armstrong [17] recomendam o uso da decomposição do problema, quebrar o problema em vários subproblemas. A decomposição é uma das mais efetivas formas para se utilizar à opinião de especialistas. O especialista é levado a responder questões de partes do problema. O analista então sintetiza as respostas para construir o prognóstico. Esta estratégia pode ser utilizada com um grupo de especialistas, com cada um respondendo alguma parte do problema.

Sem dúvida nenhuma a sofisticação do método de coleta dos dados dos especialistas, é de fundamental importância, entretanto as pesquisas de Winkler e Clemen [17] nos indicam que *“o ganho é geralmente muito maior na adição de especialistas que na adição de*

*métodos*”, a agregação de múltiplas opiniões de especialistas tende a ser mais precisa que a opinião de um especialista.

Entendemos que não só devemos refinar os métodos de educação como também ampliar o quadro de especialistas opinando. O problema reside em se agregar as várias opiniões para que se possa obter uma síntese de opiniões que possua uma precisão maior que a opinião de cada um em separado.

Existe uma clara discussão de como se obter a combinação das estimativas de diversos especialistas. Se através de métodos comportamentais ou matemáticos. Os métodos comportamentais como o método Delphi, por exemplo, procuram o consenso entre os participantes. Estudos [17] tem mostrado que os métodos matemáticos tem apresentados melhores resultados que os métodos comportamentais ou de consenso. Alguns pontos negativos relativos aos métodos comportamentais

- O efeito da tendência ao centro
- A tendência para menor confiança pelos membros do grupo para limitar sua participação
- Pressão do grupo por conformidade
- A forte influência de personalidades dominantes
- Investimento na manutenção da integridade do próprio grupo
- Tendência a se procurar alcançar decisões rápidas

As técnicas matemáticas são mais recomendadas sob o ponto de vista da precisão. Dentro das técnicas matemáticas podemos atribuir pesos diferentes para as opiniões dos diversos especialistas, entretanto muitos pesquisadores tem preferido utilizar pesos iguais para todos os especialistas, pois as pesquisas nos levam a sugerir que as mais complexas técnicas matemáticas de agregação não levam a ganhos substanciais em relação às técnicas mais simples atribuindo-se pesos iguais para todos os especialistas consultados.

Na nossa conclusão, apresentamos algumas sugestões para trabalhos futuros no sentido de refinar a educação, já que neste trabalho não é nosso propósito esgotar este assunto e sim mostrar que é viável se construir os diagramas lógicos quantitativamente com coleta de dados de especialistas.

#### 4.5 Coleta dos Dados

Eng. José Sarmiento Sobrinho  
Data : 26/09/2001

##### SVN-01 LANCAMENTO CABO PILOTO

EVENTOS	P(EVENTO)
MAU ACOMPANHAMENTO CABO	0,90
ENROSCAMENTO	0,98
ROMPIMENTO	0,90
CONTATO COM O TRABALHADOR	0,50

##### SVN-02 LANCAMENTO CABO PILOTO

EVENTOS	P(EVENTO)
DESEQUILIBRIO DE TRACAO	0,05
MAU ACOMPANHAMENTO CABO	0,98
BALANCO	0,95
ROMPIMENTO DIST. SEGURANCA	0,95
CURTO CIRCUITO	0,99

##### SVN-03 LANCAMENTO CABO AUXILIAR LINNET

EVENTOS	P(EVENTO)
<b>NÃO CONFERENCIA CONEXAO</b>	0,02
CONEXAO INCORRETA	0,01
TRACAO MAIOR	0,05
ROMPIMENTO	0,90
VIOLACAO DIST. SEGURANCA	0,90
CURTO CIRCUITO	0,98

##### SVN-04 ENCABECAMENTO DE UMA EXTREMIDADE DO TRAMO SEM FECHAMENTO DE PULOS

EVENTOS	P(EVENTO)
<b>MANUTENCAO INADEQUADA</b>	0,05
ROMPIMENTO FERRAMENTAS	0,90

TOQUE DO MONTADOR	0,98
-------------------	------

**SVN-05** ENCABECAMENTO DE UMA EXTREMIDADE DO TRAMO SEM FECHAMENTO DE PULOS

EVENTOS	P(EVENTO)
<b>ATERRAMENTO INSUFICIENTE</b>	0,50
EFEITO DE INDUCAO	0,98
CHOQUE ELETRICO	0,90
ATENDIMENTO EMERG. DEFICIENTE	0,98

**SVN-06** NIVELAMENTO DO CABO LINNET

EVENTOS	P(EVENTO)
<b>DEFEITO NO PREFORMADO</b>	0,01
TRAVAMENTO DA ROLDANA	0,05
ROMPIMENTO ENCABECAMENTO	0,70
QUEDA DO LINNET	0,98
TOQUE LINNET SOBRE GROSBEAK	0,98
CHOQUE ELETRICO	0,05
ATENDIMENTO DEFICIENTE	0,90

**SVN-07** NIVELAMENTO DO CABO LINNET

EVENTOS	P(EVENTO)
<b>DEFEITO NO PRE-FORMADO</b>	0,01
TRAVAMENTO DA ROLDANA	0,05
ROMPIMENTO ENCABECAMENTO	0,70
QUEDA DO LINNET	0,98
TOQUE LINNET SOBRE GROSBEAK	0,98

**SVN-08** INSTALACAO DE CADEIAS INTERMEDIARIAS E SUPLEMENTO LINNET

EVENTOS	P(EVENTO)
<b>TRACIONAMENTO NÃO SIMULTANEO</b>	0,01
VIOLACAO DIST. SEGURANCA	0,01
CHOQUE ELETRICO	0,90
ATENDIMENTO DEFICIENTE	0,90

**SVN-09** INSTALACAO DE CADEIAS INTERMEDIARIAS E SUPLEMENTO DE LINNET

EVENTOS	P(EVENTO)
<b>TRACIONAMENTO NÃO SIMULTANEO</b>	0,01
VIOLACAO DIST. SEGURANCA	0,01

**SVN-10** ATERRAMENTO DO TRAMO DE TRABALHO

EVENTOS	P(EVENTO)
---------	-----------

<b>NÃO CONFORMIDADE</b>	0,90
<b>NORMATIVO</b>	
RECEBE ENERGIZADO	0,01
AUTORIZACAO PARA ATERRAR	0,90
INICIA OS TRABALHOS	0,90
CHOQUE ELETRICO	0,50
ATENDIMENTO DEFICIENTE	0,90

**SVN-11** ATERRAMENTO DO TRAMO DE TRABALHO

<b>EVENTOS</b>	<b>P(EVENTO)</b>
<b>NÃO CONFORMIDADE</b>	0,90
<b>NORMATIVO</b>	
RECEBE ENERGIZADO	0,01
AUTORIZACAO PARA ATERRAR	0,90
INICIA OS TRABALHOS	0,90

**SVN-12** ENCABECAMENTO DEFINITIVO DA OUTRA EXTREMIDADE DO TRAMO COM FECHAMENTO DE PULOS

<b>EVENTOS</b>	<b>P(EVENTO)</b>
<b>ICAMENTO INADEQUADO</b>	0,90
QUEDA DE MATERIAL	0,90
ALCANCE PESSOAL EM TERRA	0,05
FALHA DE EPI	0,10

**SVN-13** INSTALACAO DE PULOS DE CONEXAO LINNET GROSBEAK NAS FASES LATERAIS E CENTRAL

<b>EVENTOS</b>	<b>P(EVENTO)</b>
PASSAGEM INADEQ. TALABARTE	0,10
QUEDA	0,98
ATENDIMENTO DEFICIENTE	0,90

**SVN-14** AJUSTE DAS TRACOES PARA CORRECAO DE CREEP

<b>EVENTOS</b>	<b>P(EVENTO)</b>
<b>ATRASSO NO CRONOGRAMA</b>	0,98
TEMPO DE EXECUCAO REDUZIDO	0,98
NÃO ATERRAMENTO GROSBEAK	0,90
INDUCAO	0,98
TOQUE ACIDENTAL	0,10
ATENDIMENTO DEFICIENTE	0,90

**SVN-15** RETIRADA DE ATERRAMENTO DO TRAMO DE TRABALHO E DEVOLUCAO DA LINHA

<b>EVENTOS</b>	<b>P(EVENTO)</b>
<b>RETIRADA NÃO COMPLETA</b>	0,05
VERIFICACAO INCOMPLETA	0,90
DEVOLUCAO DA LINHA	0,98

**SVN-16** RETIRADA DE EMPANCADURA E ESTAIAMENTOS PROVISORIOS

EVENTOS	P(EVENTO)
<b>RETIRADA NÃO COMPLETA</b>	0,90
TERCEIRO SOBE	0,01
VIOLA DIST. SEGURANCA	0,20

**SVN-17** RETIRADA DE EMPANCADURA E ESTAIAMENTOS PROVISORIOS

EVENTOS	P(EVENTO)
<b>RETIRADA NÃO COMPLETA</b>	0,90
TERCEIRO SOBE	0,01
VIOLA DIST. SEGURANCA	0,20

Eng. Roberval Luna da Silva

Data : 15/10/2001

**SVN-01** LANCAMENTO CABO PILOTO

EVENTOS	P(EVENTO)
MAU ACOMPANHAMENTO CABO	0,25
ENROSCAMENTO	0,60
ROMPIMENTO	0,20
CONTATO COM O TRABALHADOR	0,10

**SVN-02** LANCAMENTO CABO PILOTO

EVENTOS	P(EVENTO)
DESEQUILIBRIO DE TRACAO	0,30
MAU ACOMPANHAMENTO CABO	0,60
BALANCO	0,40
ROMPIMENTO DIST. SEGURANCA	0,40
CURTO CIRCUITO	0,10

**SVN-03** LANCAMENTO CABO AUXILIAR LINNET

EVENTOS	P(EVENTO)
<b>NÃO CONFERENCIA CONEXAO</b>	0,10
CONEXAO INCORRETA	0,30
TRACAO MAIOR	0,20
ROMPIMENTO	0,10
VIOLACAO DIST. SEGURANCA	0,10
CURTO CIRCUITO	0,05



**SVN-04** ENCABECAMENTO DE UMA EXTREMIDADE DO TRAMO SEM FECHAMENTO DE PULOS

EVENTOS	P(EVENTO)
<b>MANUTENCAO INADEQUADA</b>	0,20
ROMPIMENTO FERRAMENTAS	0,55
TOQUE DO MONTADOR	0,10

**SVN-05** ENCABECAMENTO DE UMA EXTREMIDADE DO TRAMO SEM FECHAMENTO DE PULOS

EVENTOS	P(EVENTO)
<b>ATERRAMENTO INSUFICIENTE</b>	0,20
EFEITO DE INDUCAO	0,60
CHOQUE ELETRICO	0,60
ATENDIMENTO EMERG. DEFICIENTE	0,40

**SVN-06** NIVELAMENTO DO CABO LINNET

EVENTOS	P(EVENTO)
<b>DEFEITO NO PRE-FORMADO</b>	0,05
TRAVAMENTO DA ROLDANA	0,25
ROMPIMENTO ENCABECAMENTO	0,30
QUEDA DO LINNET	0,80
TOQUE LINNET SOBRE GROSBEAK	0,70
CHOQUE ELETRICO	0,30
ATENDIMENTO DEFICIENTE	0,40

**SVN-07** NIVELAMENTO DO CABO LINNET

EVENTOS	P(EVENTO)
<b>DEFEITO NO PRE-FORMADO</b>	0,05
TRAVAMENTO DA ROLDANA	0,25
ROMPIMENTO ENCABECAMENTO	0,30
QUEDA DO LINNET	0,80
TOQUE LINNET SOBRE GROSBEAK	0,70

**SVN-08** INSTALACAO DE CADEIAS INTERMEDIARIAS E SUPLEMENTO LINNET

EVENTOS	P(EVENTO)
<b>TRACIONAMENTO NÃO SIMULTANEO</b>	0,15
VIOLACAO DIST. SEGURANCA	0,35
CHOQUE ELETRICO	0,30
ATENDIMENTO DEFICIENTE	0,40

**SVN-09** INSTALACAO DE CADEIAS INTERMEDIARIAS E SUPLEMENTO DE LINNET

EVENTOS	P(EVENTO)
---------	-----------

<b>TRACIONAMENTO SIMULTANEO</b>	<b>NÃO</b>	0,15
VIOLACAO DIST. SEGURANCA		0,35

**SVN-10** ATERRAMENTO DO TRAMO DE TRABALHO

EVENTOS	P(EVENTO)
<b>NÃO CONFORMIDADE NORMATIVO</b>	0,15
RECEBE ENERGIZADO	0,70
AUTORIZACAO PARA ATERRAR	0,10
INICIA OS TRABALHOS	0,20
CHOQUE ELETRICO	0,30
ATENDIMENTO DEFICIENTE	0,40

**SVN-11** ATERRAMENTO DO TRAMO DE TRABALHO

EVENTOS	P(EVENTO)
<b>NÃO CONFORMIDADE NORMATIVO</b>	0,15
RECEBE ENERGIZADO	0,70
AUTORIZACAO PARA ATERRAR	0,10
INICIA OS TRABALHOS	0,20

**SVN-12** ENCABECAMENTO DEFINITIVO DA OUTRA EXTREMIDADE DO TRAMO COM FECHAMENTO DE PULOS

EVENTOS	P(EVENTO)
<b>ICAMENTO INADEQUADO</b>	0,10
QUEDA DE MATERIAL	0,65
ALCANCE PESSOAL EM TERRA	0,10
FALHA DE EPI	0,15

**SVN-13** INSTALACAO DE PULOS DE CONEXAO LINNET GROSBEAK NAS FASES LATERAIS E CENTRAL

EVENTOS	P(EVENTO)
PASSAGEM INADEQ. TALABARTE	0,10
QUEDA	0,70
ATENDIMENTO DEFICIENTE	0,40

**SVN-14** AJUSTE DAS TRACOES PARA CORRECAO DE CREEP

EVENTOS	P(EVENTO)
<b>ATRASO NO CRONOGRAMA</b>	0,20
TEMPO DE EXECUCAO REDUZIDO	0,35
NÃO ATERRAMENTO GROSBEAK	0,10
INDUCAO	0,60
TOQUE ACIDENTAL	0,30
ATENDIMENTO DEFICIENTE	0,40

**SVN-15** RETIRADA DE ATERRAMENTO DO TRAMO DE TRABALHO E DEVOLUCAO DA LINHA

<b>EVENTOS</b>	<b>P(EVENTO)</b>
<b>RETIRADA NÃO COMPLETA</b>	0,05
VERIFICACAO INCOMPLETA	0,10
DEVOLUCAO DA LINHA	0,05

**SVN-16** RETIRADA DE EMPANCADURA E ESTAIAMENTOS PROVISORIOS

<b>EVENTOS</b>	<b>P(EVENTO)</b>
<b>RETIRADA NÃO COMPLETA</b>	0,05
TERCEIRO SOBE	0,10
VIOLA DIST. SEGURANCA	0,70

**SVN-17** RETIRADA DE EMPANCADURA E ESTAIAMENTOS PROVISORIOS

<b>EVENTOS</b>	<b>P(EVENTO)</b>
<b>RETIRADA NÃO COMPLETA</b>	0,05
TERCEIRO SOBE	0,10
VIOLA DIST. SEGURANCA	0,70

**Com os dados coletados passaremos a calcular os riscos de sucesso e insucesso das 17 SVN's construídas, descritas no capítulo 3, para cada especialista. Para os casos em que temos mais de uma SVN para cada etapa, deveremos utilizar a regra de adição de probabilidades descrita no item 4.3. Para o caso de insucesso utilizaremos a rota crítica, isto é o encadeamento de eventos do lado esquerdo da SVN. No caso de sucesso, temos as várias rotas. Porém a título de exemplo, utilizaremos a última rota de sucesso, que definimos como aquela que usa o último evento de sucesso. (ver o ítem 4.2)**

## 4.6 Cálculo das SVN: Especialista 1

Especialista 1 : Eng. José Sarmiento Sobrinho

### 4.6.1 Lançamento Cabo Piloto

SVN - 01

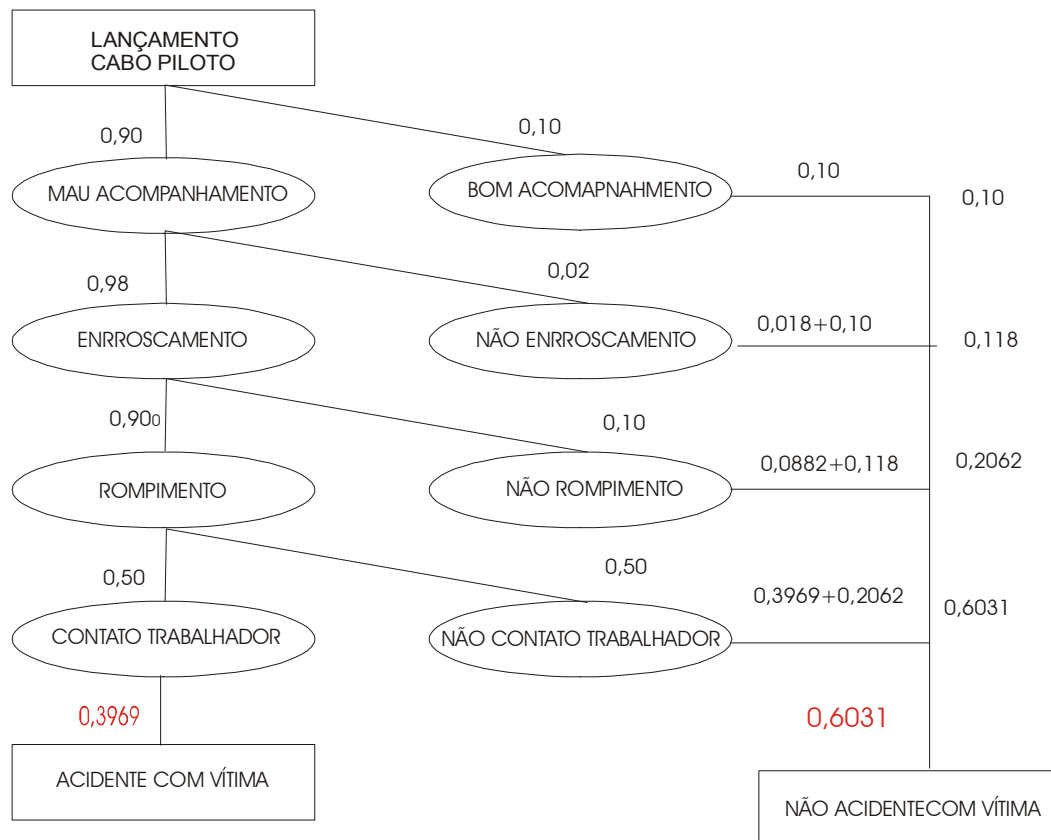


Figura 4.4 – SVN 01

SVN 02

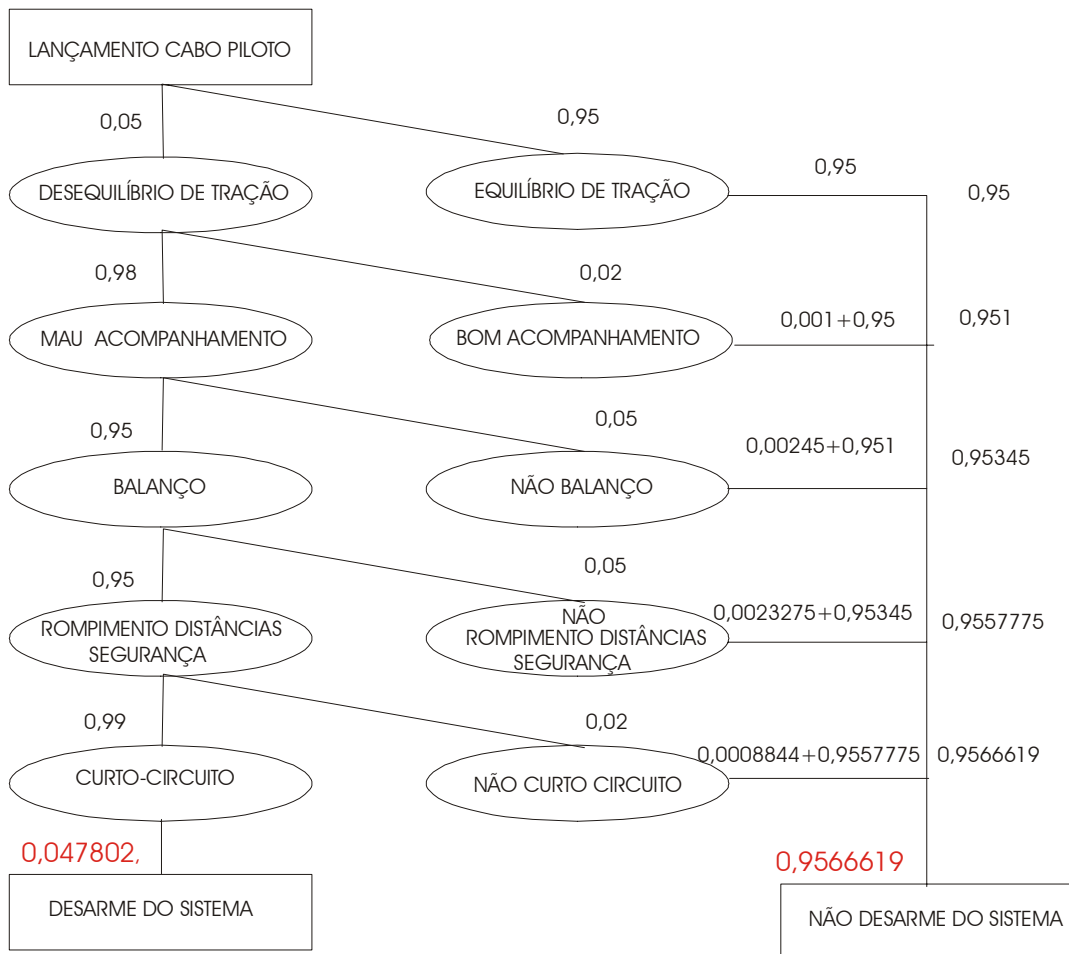


Figura 4.5 – SVN 02

Como estas duas SVN representam uma mesma etapa, utilizaremos a teoria da união entre probabilidades e conheceremos o risco de sucesso ou insucesso na CVN.

O especialista nos informou que a probabilidade condicional de ocorrer a SVN-01 caso ocorra a SVN-02 é alta e de 90%.

**Assim:**

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) \cdot P(B)$$

**Sendo A = SVN-01 e B = SVN-02, temos:**

$$P(SVN-01 \cup SVN-02) = P(SVN-01) + P(SVN-02) - P(SVN-01 \cap SVN-02) \cdot P(SVN-02) = 0,3969 + 0,047802 - 0,90 \times 0,47802 = 0,0144622$$

Assim o risco de insucesso da etapa da CVN – Lançamento Cabo Piloto é de 0,0145 e o risco de sucesso da composição das últimas rotas de sucesso é de 0,9855.

#### 4.6.2 Lançamento Cabo Auxiliar Linnet

SVN –03

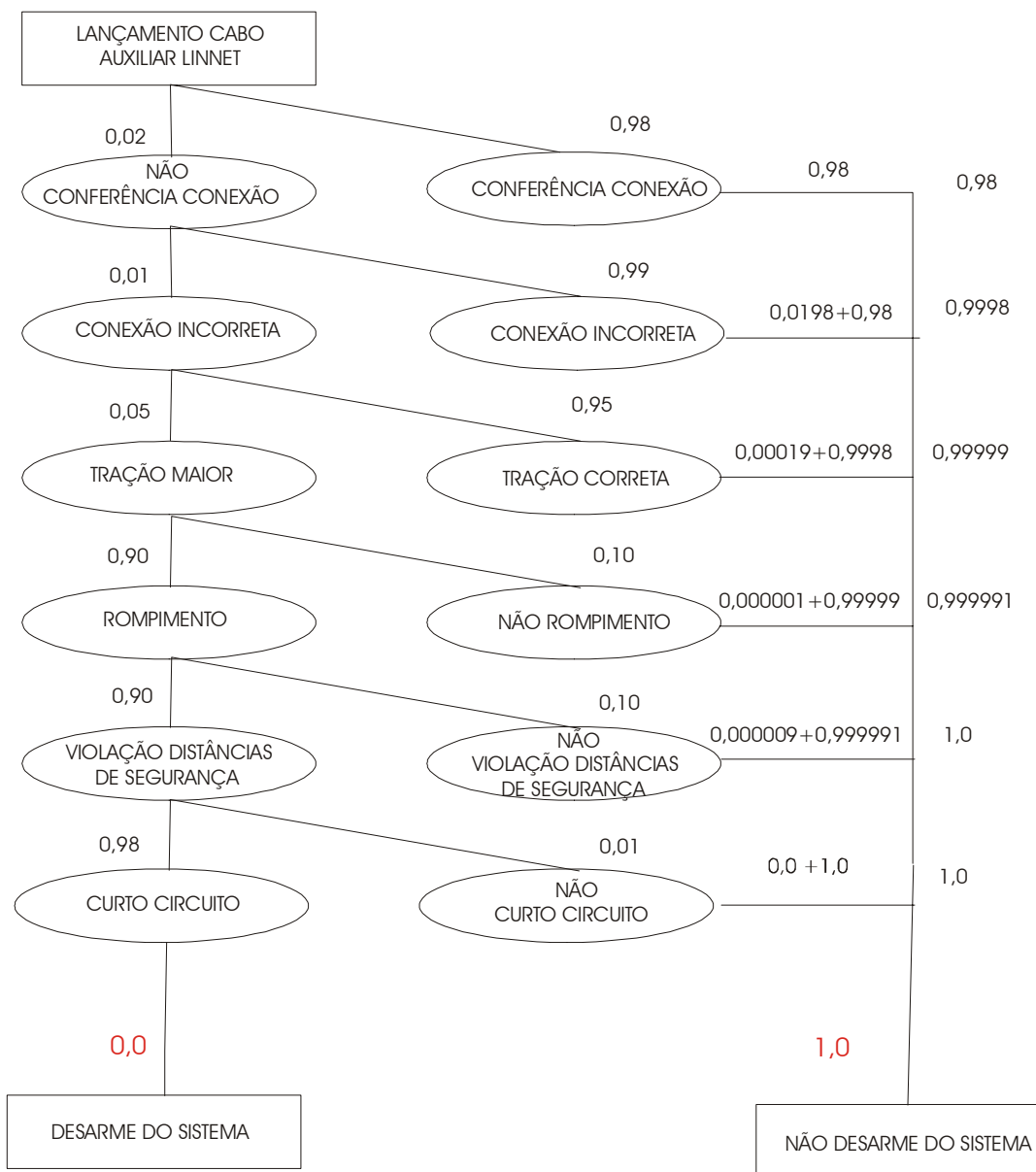


Figura 4.6 – SVN 03

**Assim o risco de insucesso da etapa da CVN – Lançamento Cabo Linnet auxiliar é de 0,0001 e o risco da última rota de sucesso é de 0,9999.**

#### 4.6.3 Encabeçamento de uma extremidade do tramo sem fechamento de pulos

SVN -04

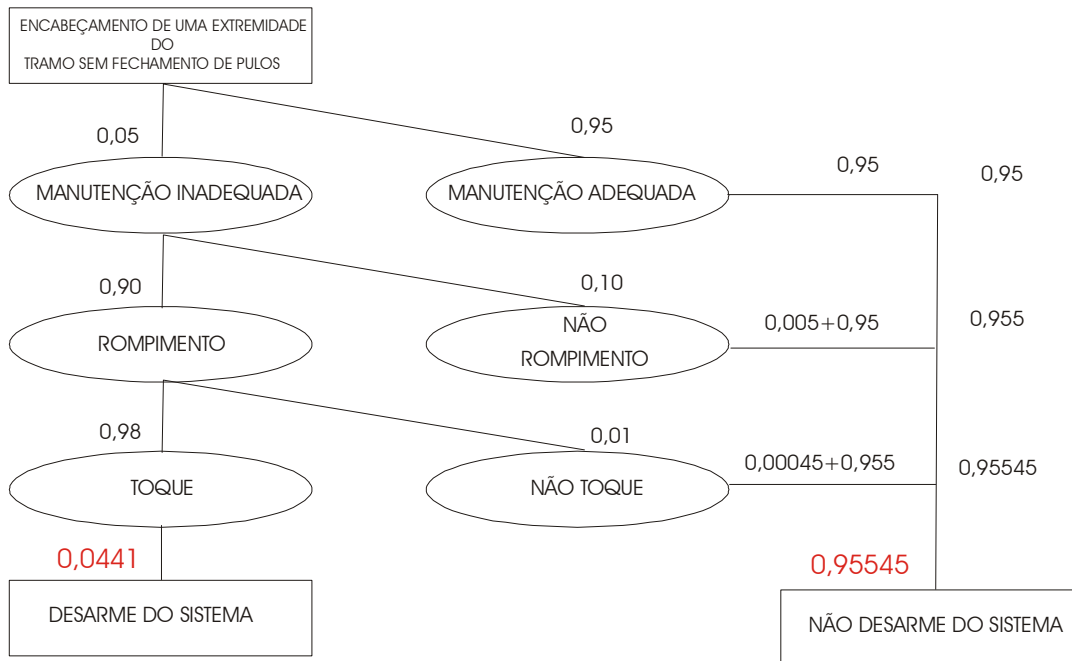


Figura 4.7 – SVN 02

SVN –05

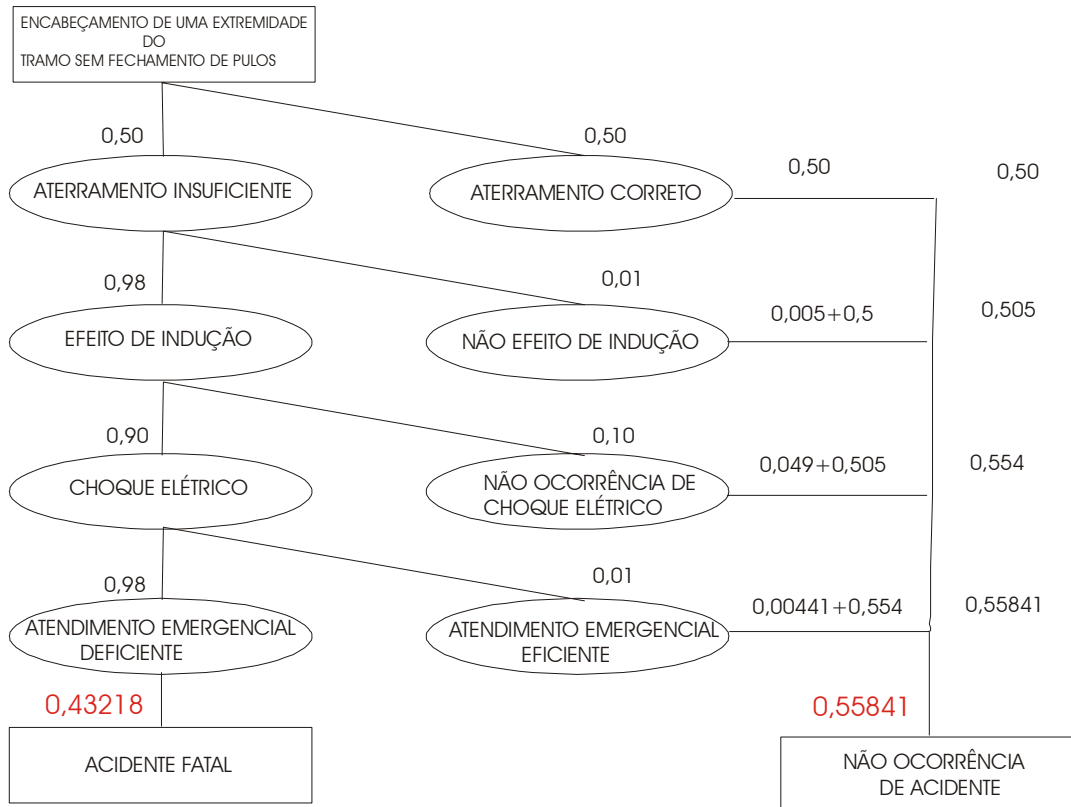


Figura 4.8 – SVN 05

Como estas duas SVN's representam uma mesma etapa, utilizaremos a teoria da união entre probabilidades e conheceremos o risco de sucesso ou insucesso na CVN.

O especialista nos informou que a probabilidade condicional de ocorrer a SVN-04 caso ocorra a SVN-05 é alta e de 90%.

Assim:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A|B)P(B)$$

Sendo A = SVN-04 e B = SVN-05, temos

$$P(SVN-04 \cup SVN-05) = P(SVN-04) + P(SVN-05) - P(SVN-04|SVN-05)P(SVN-05) = 0,0441 + 0,43218 - 0,90 \times 0,43218 = 0,0873$$



**Assim o risco de insucesso da etapa da CVN –  
Encabeçamento de uma extremidade do tramo sem  
fechamento de pulos é de 0,0873 e o risco de sucesso  
da composição das últimas rotas de sucesso é de  
0,9127**

#### **4.6.4 Nivelamento do cabo Linnet**

SVN –06

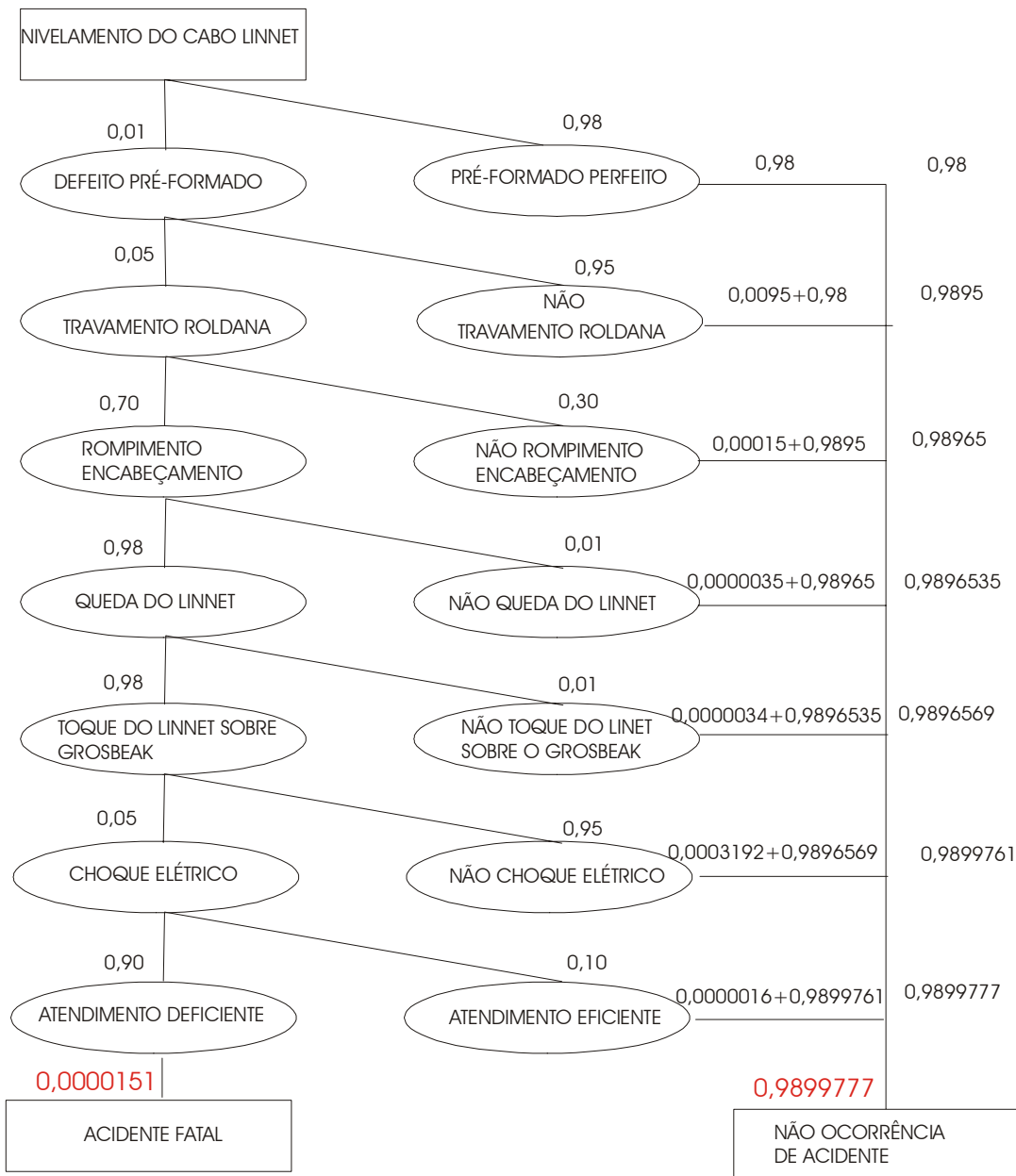


Figura 4.9 – SVN 06

SVN -07

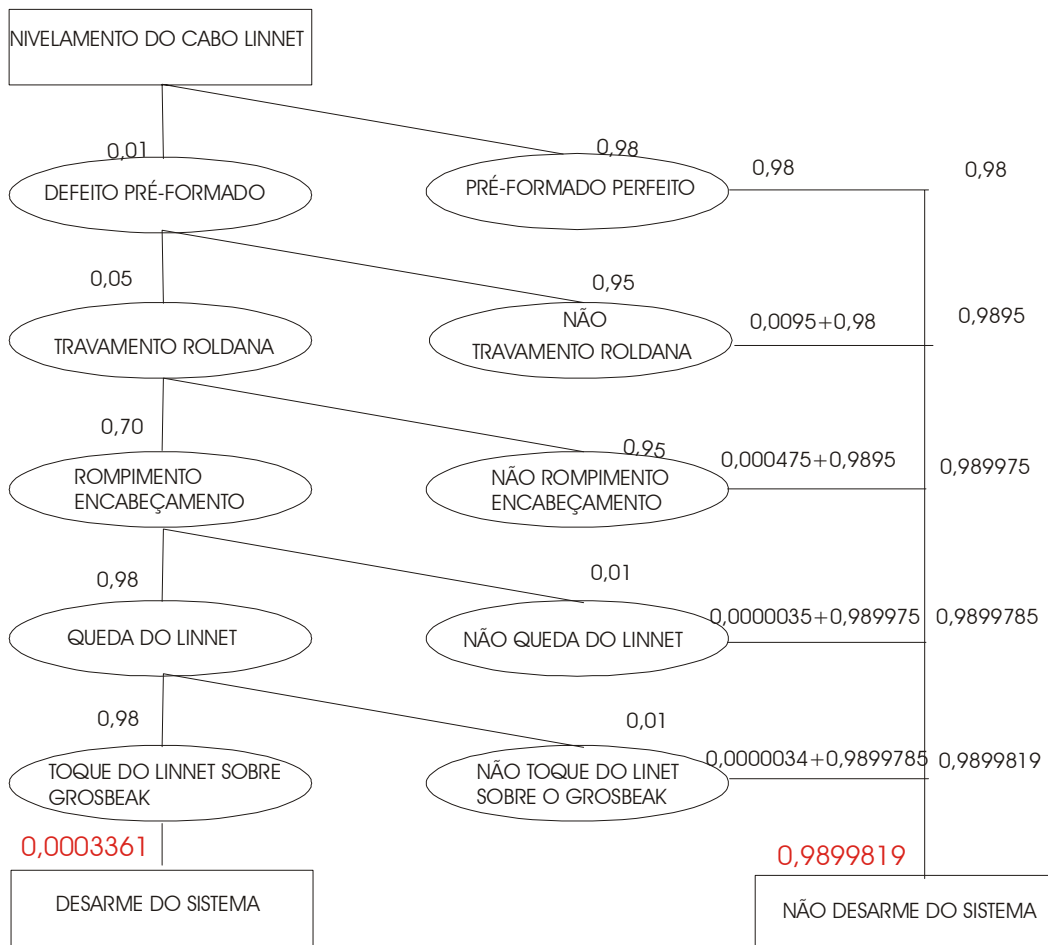


Figura 4.10 – SVN 07

Como estas duas SVN's representam uma mesma etapa, utilizaremos a teoria da união entre probabilidades e conheceremos o risco de sucesso ou insucesso na CVN.

O especialista nos informou que a probabilidade condicional de ocorrer a SVN-06 caso ocorra a SVN-07 é alta e de 90%.

Assim:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A|B)P(B)$$

Sendo  $A = \text{SVN-06}$  e  $B = \text{SVN-07}$ , temos

$$P(\text{SVN-06} \cup \text{SVN-07}) = P(\text{SVN-06}) + P(\text{SVN-07}) - P(\text{SVN-06} | \text{SVN-07}) P(\text{SVN-07}) = 0,0000151 + 0,000361 - 0,90 \times 0,000361 = 0,0000512$$

**Assim o risco de insucesso da etapa da CVN – Nivelamento do cabo Linnet é de 0,0001 e o risco de**

# sucesso da composição das últimas rotas de sucesso é de 0,9999

## 4.6.5 Instalação de cadeias intermediárias e suplemento de Linnet

SVN -08

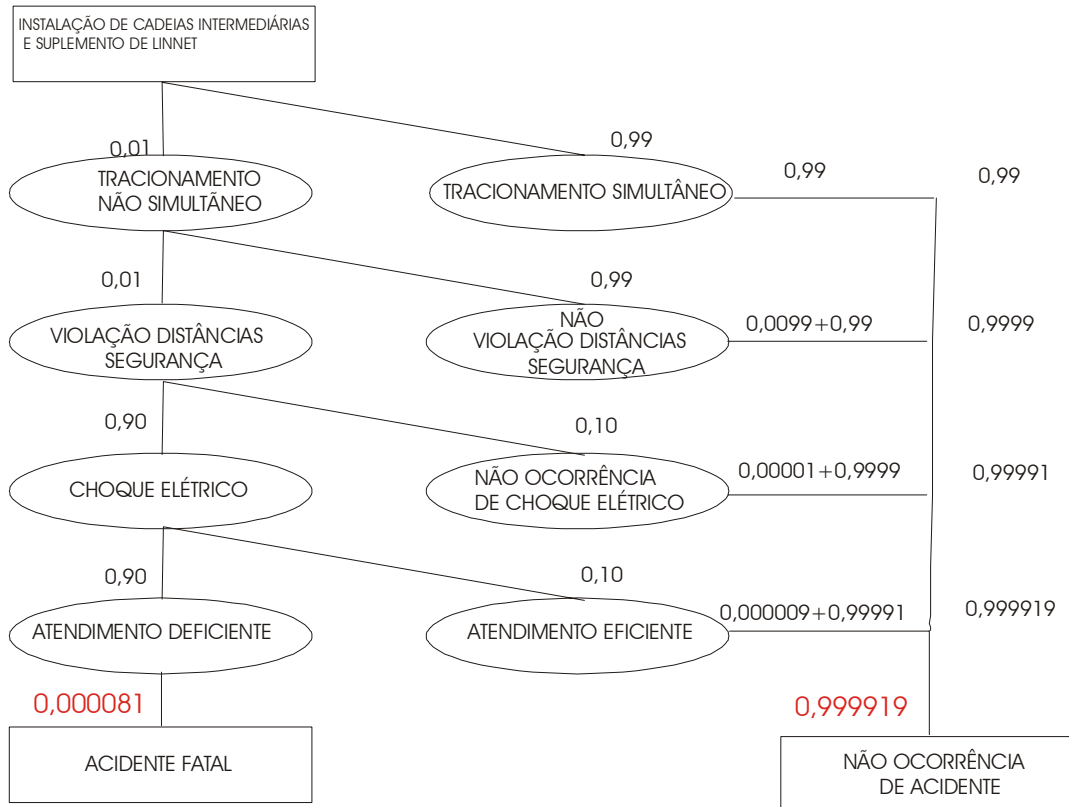


Figura 4.11 – SVN 08

## SVN-09

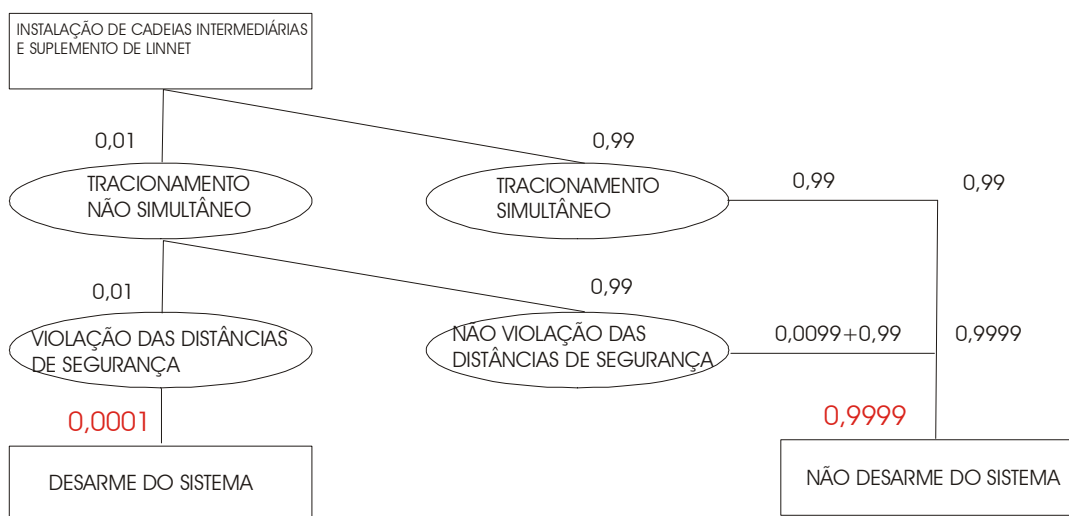


Figura 4.12 – SVN 09

Como estas duas SVN's representam uma mesma etapa, utilizaremos a teoria da união entre probabilidades e conheceremos o risco de sucesso ou insucesso na CVN.

O especialista nos informou que a probabilidade condicional de ocorrer a SVN-08 caso ocorra a SVN-09 é alta e de 90%.

Assim:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A|B)P(B)$$

Sendo  $A = \text{SVN-08}$  e  $B = \text{SVN-09}$ , temos

$$P(\text{SVN-08} \cup \text{SVN-09}) = P(\text{SVN-08}) + P(\text{SVN-09}) - P(\text{SVN-08} | \text{SVN-09})P(\text{SVN-09}) = 0,000081 + 0,0001 - 0,90 \times 0,0001 = 0,000091$$

**Assim o risco de insucesso da etapa da CVN –  
Instalação de cadeias intermediárias e suplemento de  
Linnet é de 0,0001 e o risco de sucesso da  
composição das últimas rotas de sucesso é de 0,9999.**

#### **4.6.6 Aterramento do tramo de trabalho**

SVN –10

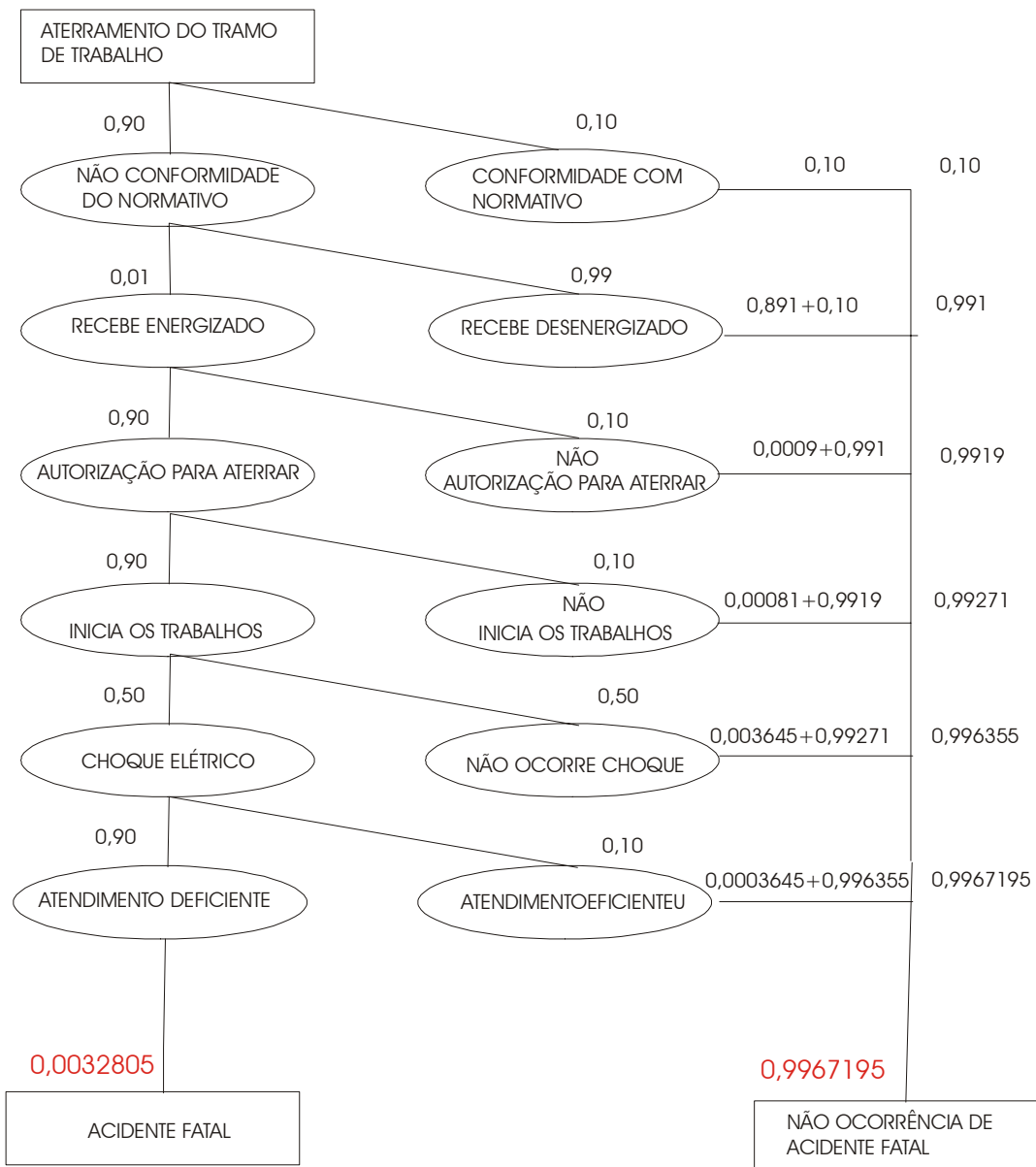


Figura 4.13 – SVN 10

SVN-11

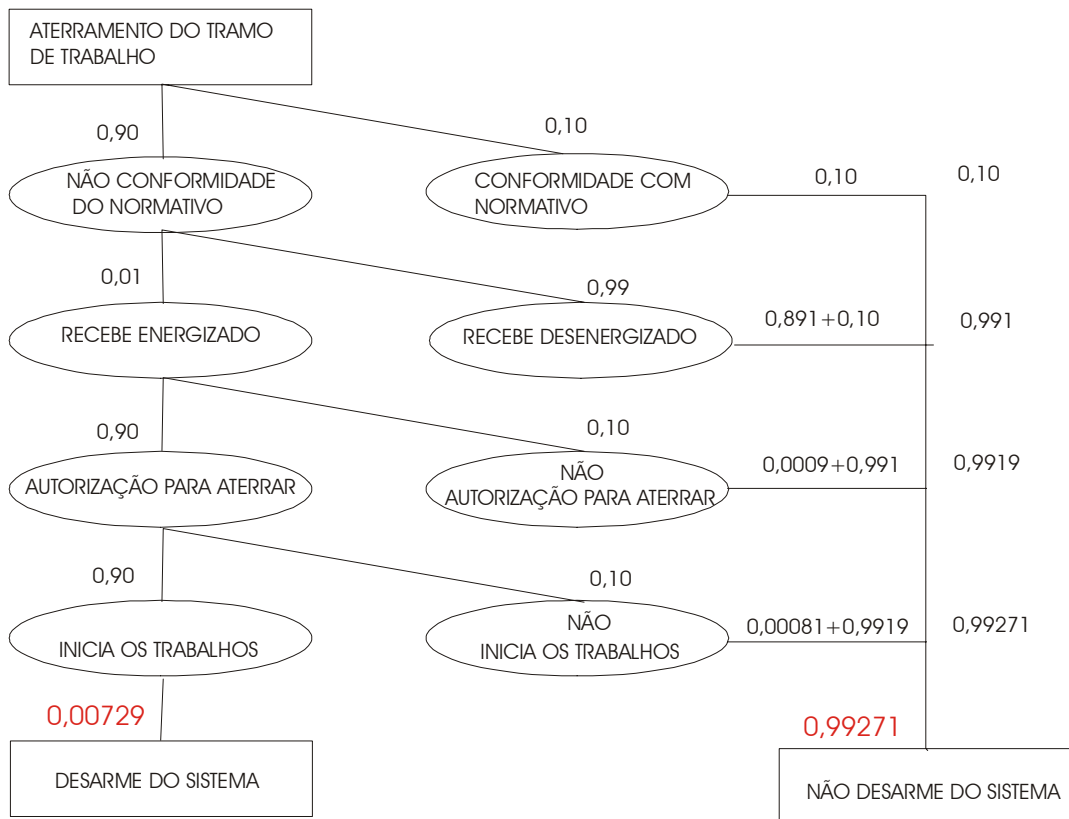


Figura 4.14 – SVN 11

Como estas duas SVN's representam uma mesma etapa, utilizaremos a teoria da união entre probabilidades e conheceremos o risco de sucesso ou insucesso na CVN.

O especialista nos informou que a probabilidade condicional de ocorrer a SVN-10 caso ocorra a SVN-11 é alta e de 90%.

Assim:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A|B)P(B)$$

Sendo  $A = \text{SVN-10}$  e  $B = \text{SVN-11}$ , temos

$$P(\text{SVN-10} \cup \text{SVN-11}) = P(\text{SVN-10}) + P(\text{SVN-11}) - P(\text{SVN-10} | \text{SVN-11})P(\text{SVN-11}) = 0,0032805 + 0,00729 - 0,90 \times 0,00729 = 0,0040$$

**Assim o risco de insucesso da etapa da CVN – Aterramento do tramo de trabalho é de 0,0040 e o risco de sucesso da composição das últimas rotas de sucesso é de 0,9960.**



**4.6.7 Encabeçamento definitivo da outra extremidade do tramo com fechamento de pulos**

SVN-12

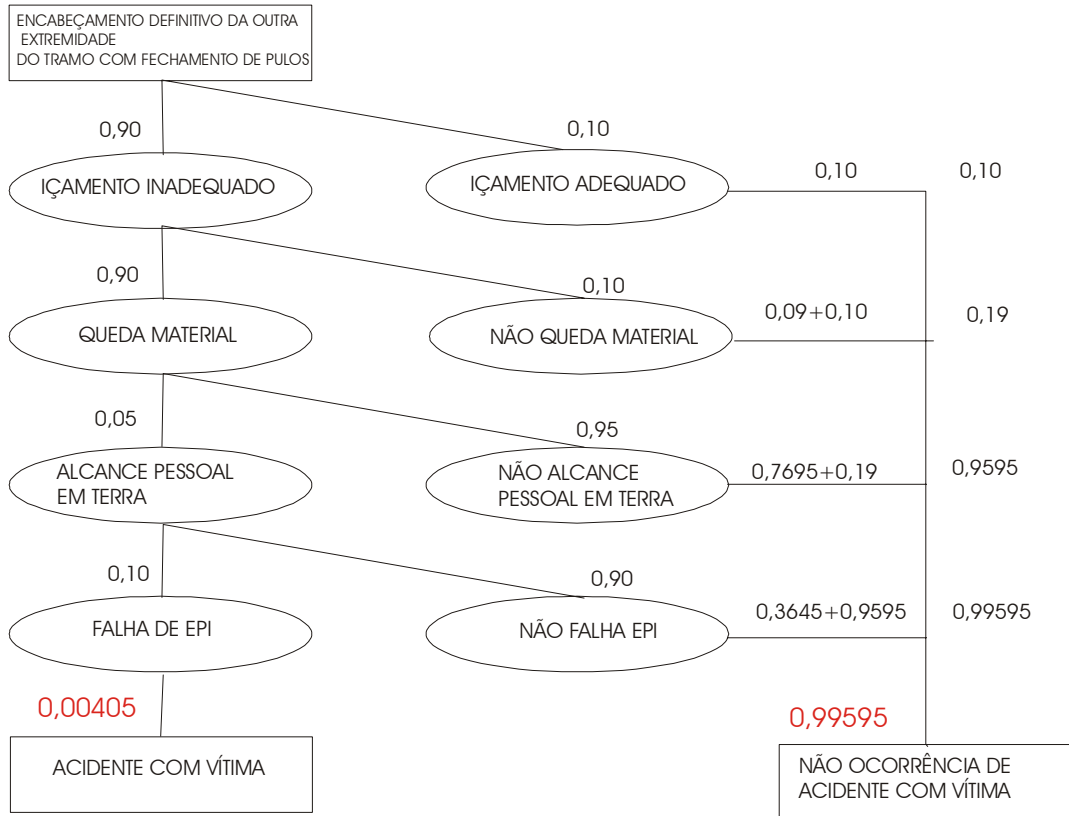


Figura 4.15 – SVN 12

**Assim o risco de insucesso da etapa da CVN – Encabeçamento definitivo da outra extremidade do tramo com fechamento de pulos é de 0,0040 e o risco de sucesso da última rota é de 0,9960.**

#### 4.6.8 Instalação de pulos de conexão Linnet-Grosbeak nas fases lateral e central

SVN-13

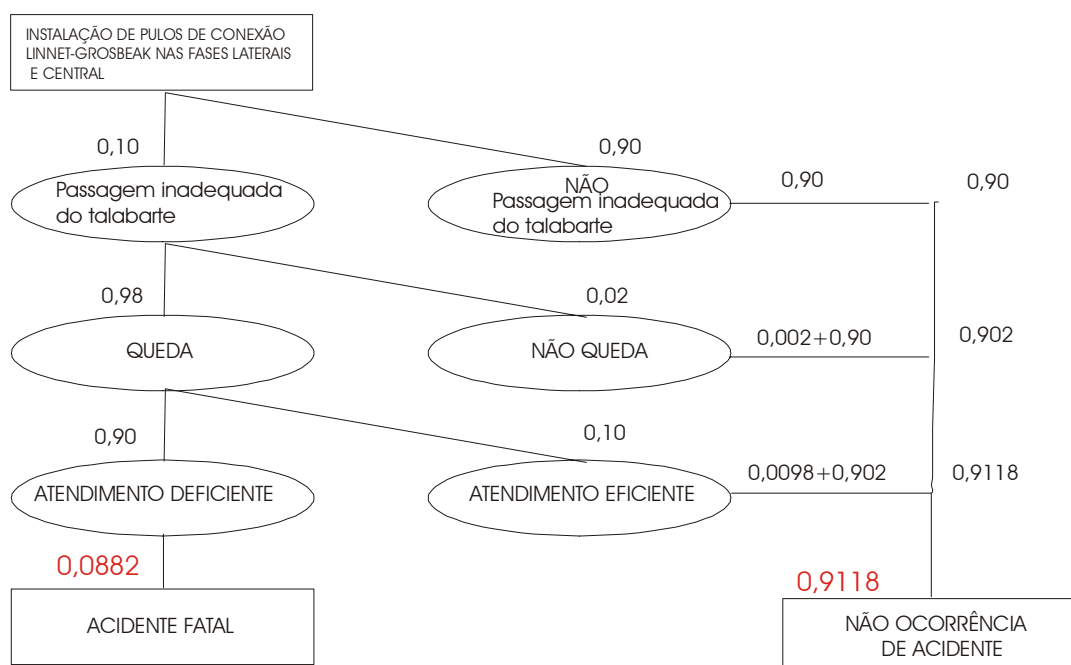


Figura 4.16 – SVN 13

**Assim o risco de insucesso da etapa da CVN – Instalação de pulos de conexão Linnet-Grosbeak nas fases lateral e central é de 0,0882 e o risco de sucesso da última rota é de 0,9118.**

#### **4.6.9 Ajuste das trações para correção do creep**

SVN-14

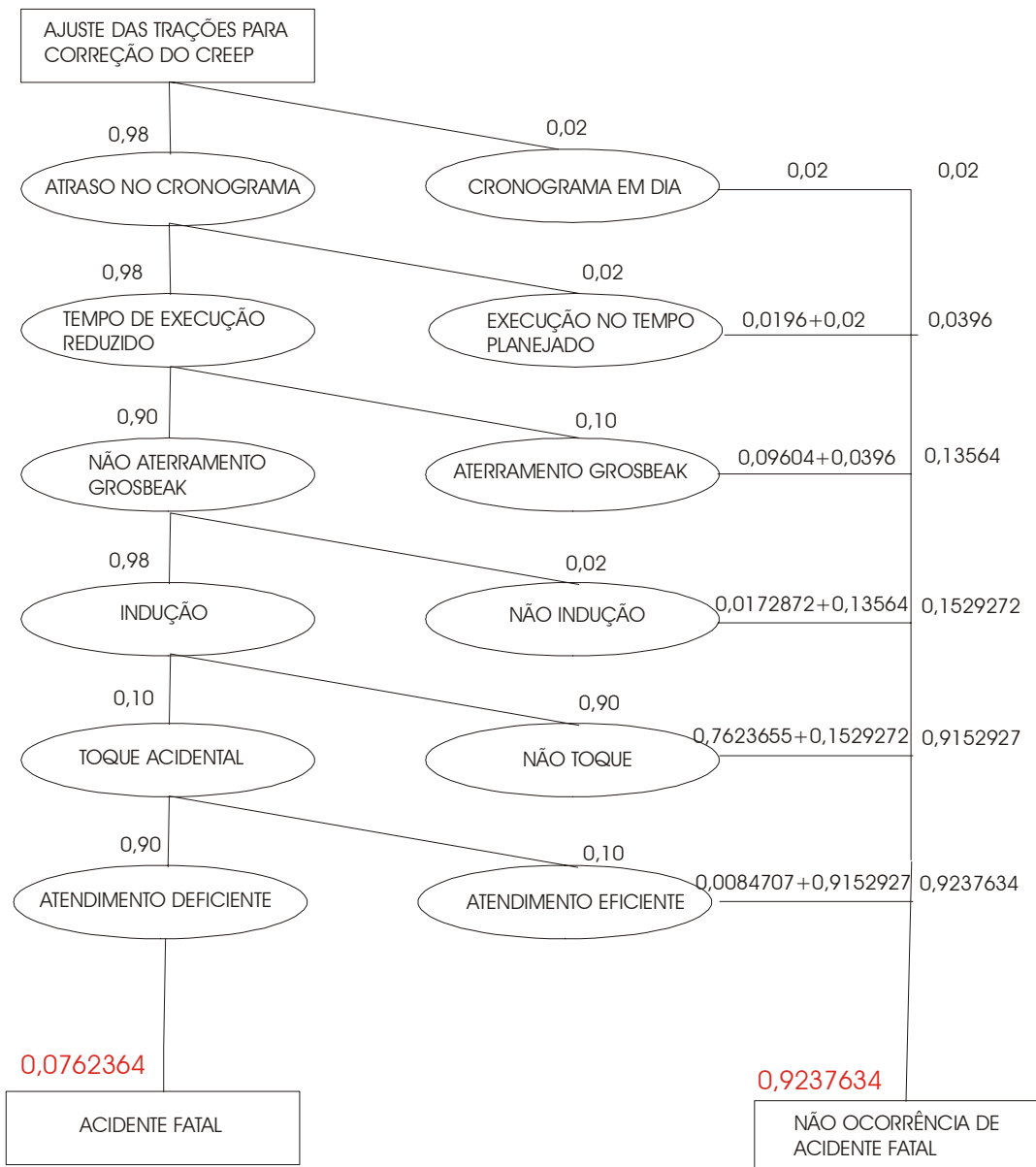


Figura 4.17 – SVN 14

**Assim o risco de insucesso da etapa da CVN – Ajuste das trações para correção de creep é de 0,0763 e o risco de sucesso da última rota é de 0,9237.**

#### 4.6.10 Retirada de aterramento do tramo de trabalho e devolução da linha

SVN-15

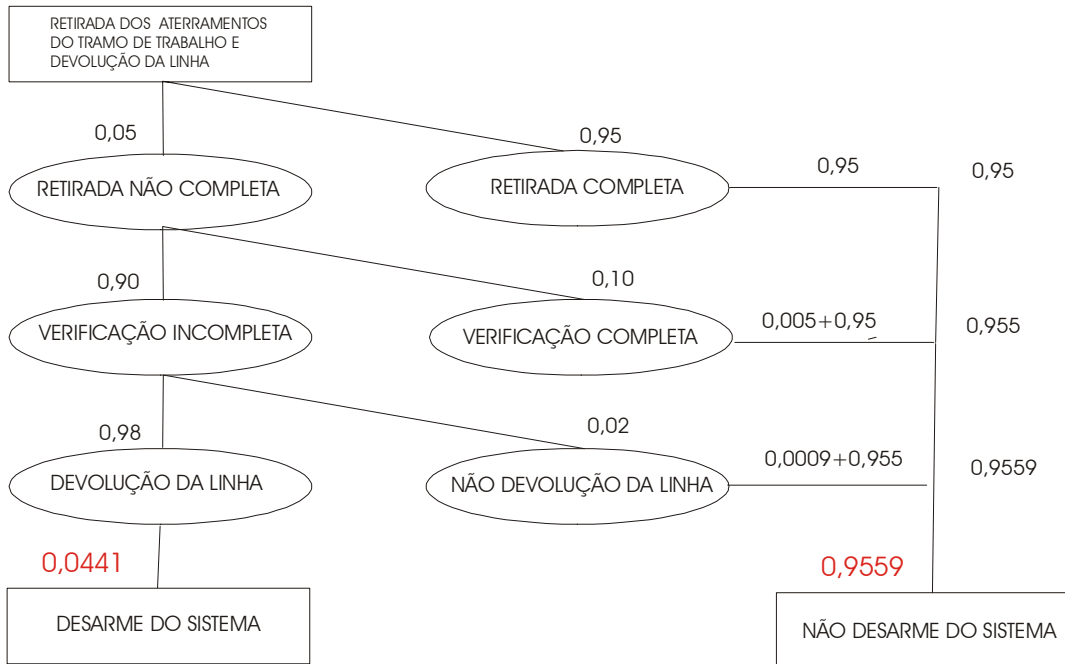


Figura 4.18 – SVN 15

**Assim o risco de insucesso da etapa da CVN – Retirada de aterramento do tramo de trabalho e devolução da linha é de 0,0441 e o risco de sucesso da última rota é de 0,9559.**

### 4.6.11 Retirada de empancadura e estaiamentos provisórios

SVN-16

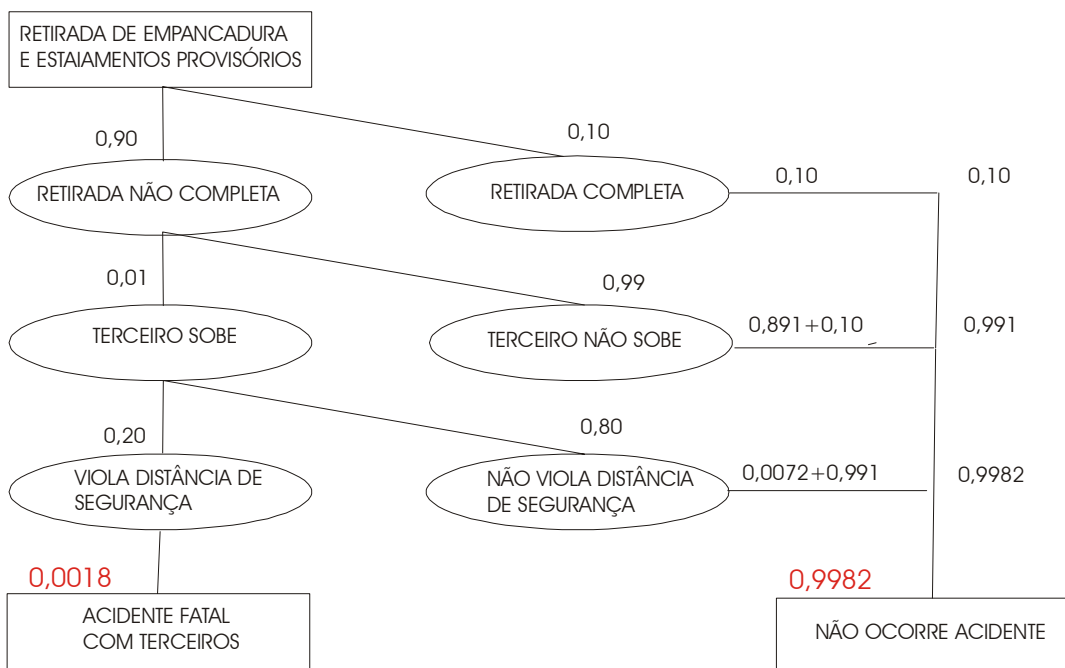


Figura 4.19 – SVN 16

SVN-17

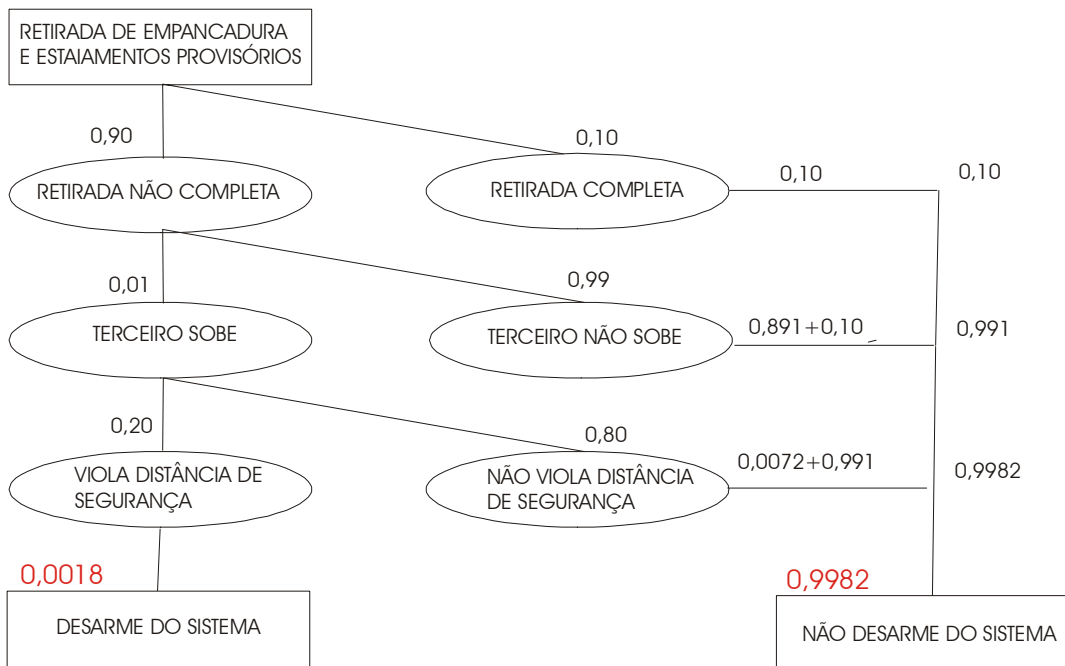


Figura 4.20 – SVN 17

Como estas duas SVN's representam uma mesma etapa, utilizaremos a teoria da união entre probabilidades e conheceremos o risco de sucesso ou insucesso na CVN.

O especialista nos informou que a probabilidade condicional de ocorrer a SVN-16 caso ocorra a SVN-17 é alta e de 90%.

Assim:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A|B)P(B)$$

Sendo  $A = \text{SVN-16}$  e  $B = \text{SVN-17}$ , temos

$$P(\text{SVN-16} \cup \text{SVN-17}) = P(\text{SVN-16}) + P(\text{SVN-17}) - P(\text{SVN-16} | \text{SVN-17})P(\text{SVN-17}) = 0,0018 + 0,0018 - 0,90 \times 0,0018 = 0,00198$$

**Assim o risco de insucesso da etapa da CVN – Retirada de empancadura e estaiamentos provisórios é de 0,0020 e o risco de sucesso da composição das últimas rotas de sucesso é de 0,9980.**

**De posse de todos os dados referentes as SVN,  
podemos agora construir uma tabela que irá facilitar  
a construção de uma CVN, levando em  
consideração, o conhecimento à priori do  
especialista Eng. José Sarmiento Sobrinho. A coluna  
de risco de sucesso, corresponde, a título de**



**exemplo, a última rota de sucesso de cada SVN ou da adição destas quando forem mais de uma, já que o risco de sucesso representa um conjunto de soluções de ações baseado nas diversas rotas das várias SVN.**

**Tabela 4.1 - Tabela para Construção da CVN – Especialista 1**

<b>N</b>	<b>ETAPAS</b>	<b>SVN's</b>	<b>SUCESSO</b>	<b>INSUCESSO</b>
5	Lançamento cabo piloto	01+02	0,9855	0,0145
6	Lançamento cabo linnet auxiliar	03	0,9999	,0,0001
7	Encabeçamento de uma extremidade do tramo sem fechamento de pulos	04+05	0,9127	0,0873
8	Nivelamento do cabo Linnet	06+07	0,9999	0,0001
9	Instalação de cadeias intermediárias e suplemento de linnet	08+09	0,9999	0,0001
10	Aterramento do tramo de trabalho	10+11	0,9960	0,0040
11	Encabeçamento definitivo da outra extremidade do tramo com fechamento de pulos	12	0,9960	0,0040
12	Instalação de pulos de conexão Linnet-Grosbeak nas fases laterais	13	0,9118	0,0882
13	Instalação de pulos de conexão Linnet-Grosbeak nas fases centrais	13	0,9118	0,0882
14	Ajuste das trações para correção de creep	14	0,9237	0,0763
15	Retirada de aterramento do tramo de trabalho e devolução da linha	15	0,9559	0,0441
16	Retirada de empancadura e estaiamentos provisórios	16+17	0,9980	0,0020

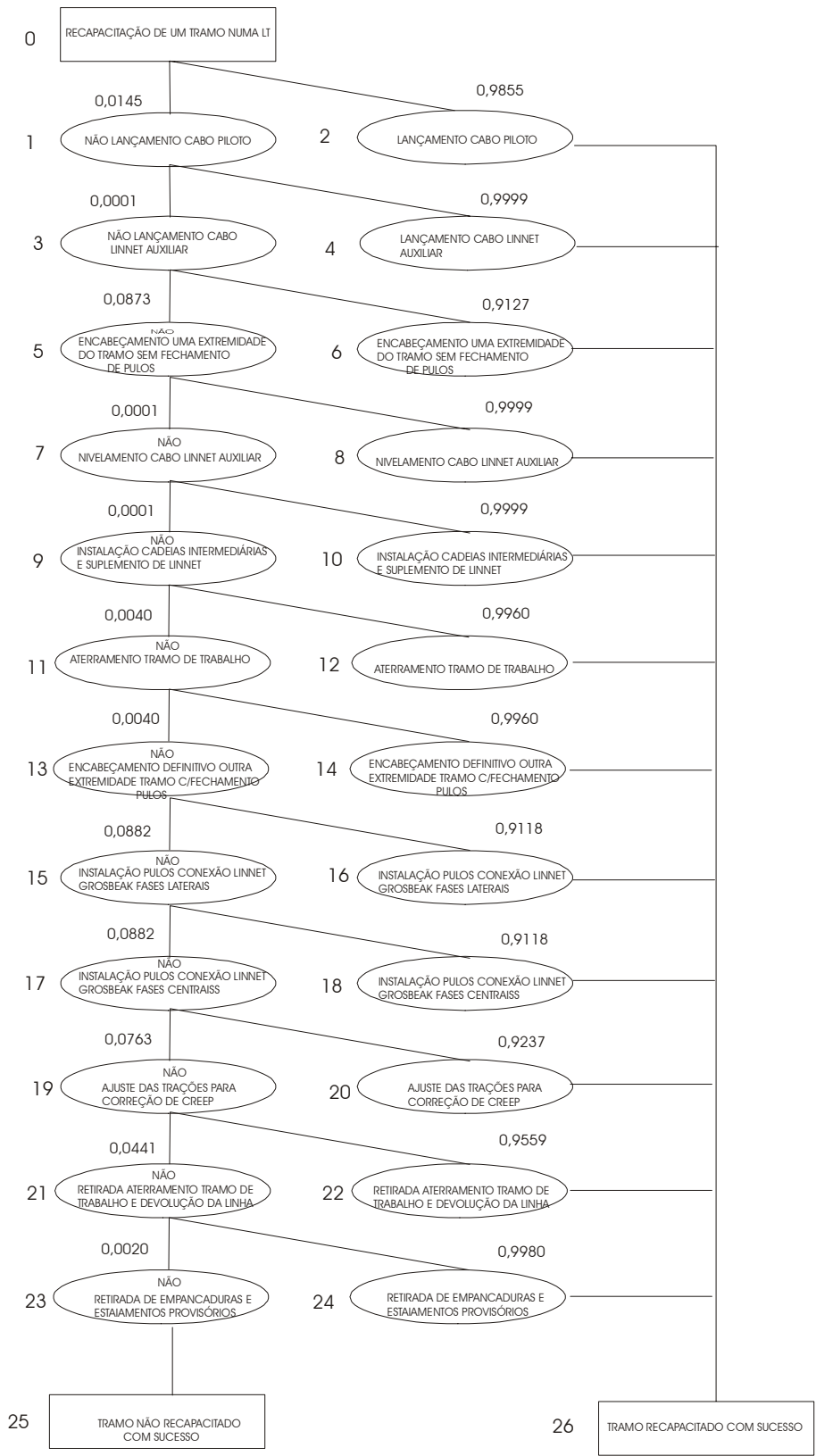


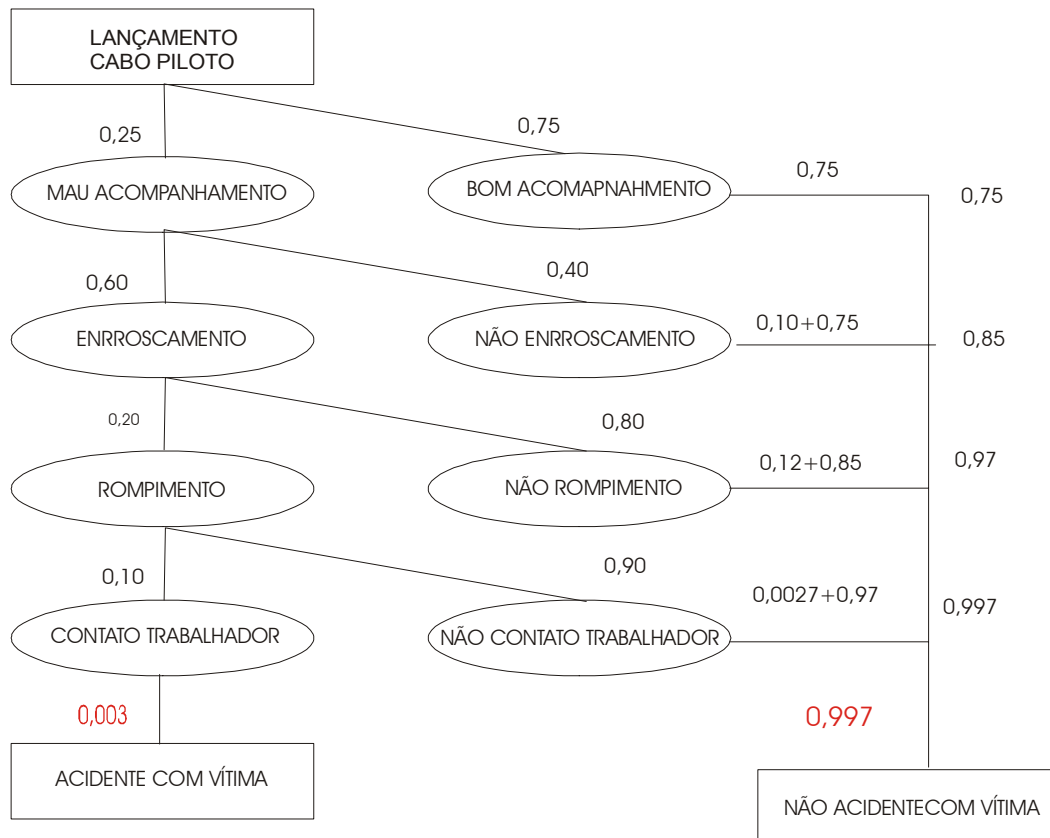
Figura 4.21 – CVN Especialista 1

## 4.7 Cálculo das SVN : Especialista 2

Especialista 2 : Eng. Roberval Luna da Silva

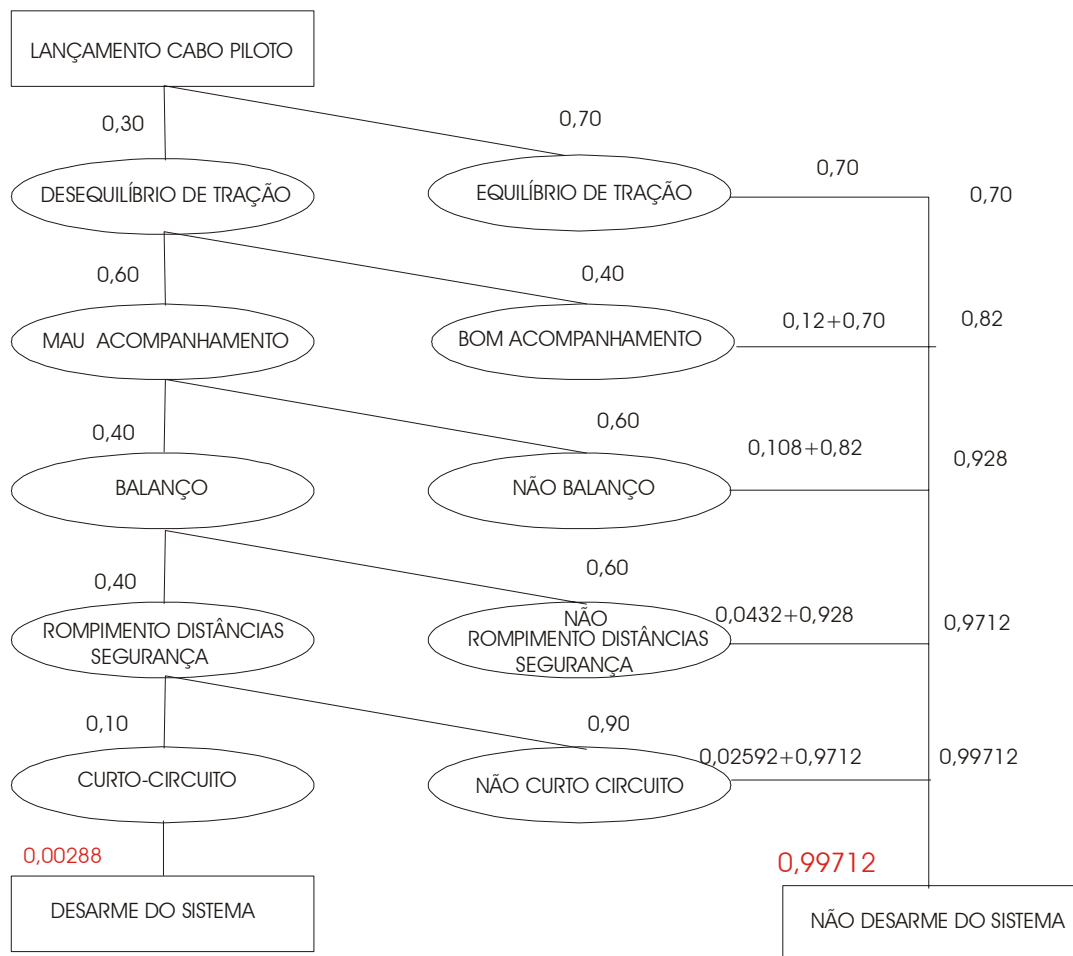
### 4.7.1 Lançamento Cabo Piloto

SVN – 01



**Figura 4.22 – SVN 01**

## SVN 02



**Figura 4.23 – SVN 02**

Como estas duas SVN's representam uma mesma etapa, utilizaremos a teoria da união entre probabilidades e conheceremos o risco de sucesso ou insucesso na CVN.

O especialista nos informou que a probabilidade condicional de ocorrer a SVN-01 caso ocorra a SVN-02 é alta e de 90%.

Assim:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A|B)P(B)$$

Sendo  $A = \text{SVN-01}$  e  $B = \text{SVN-02}$ , temos

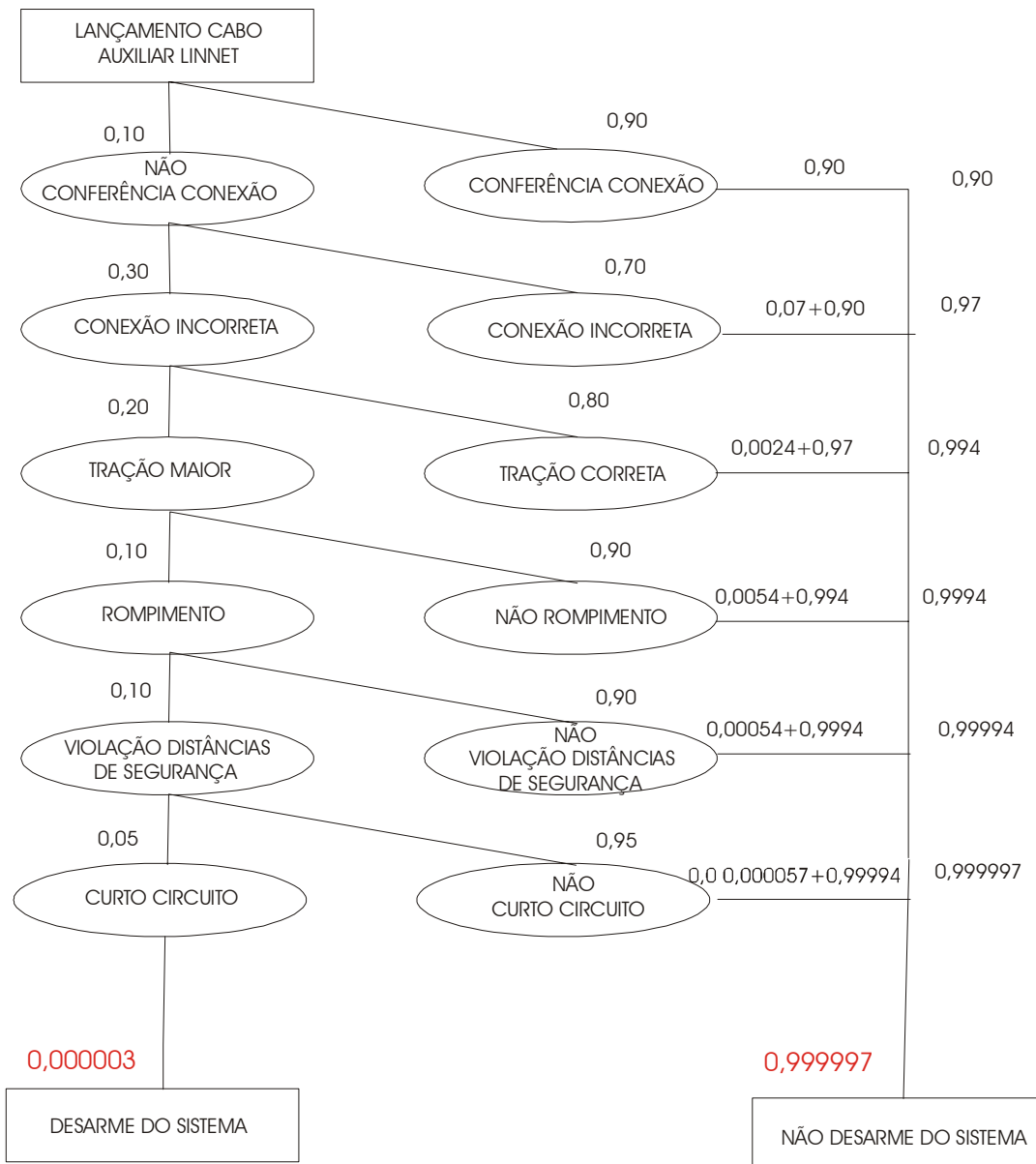
$$P(\text{SVN-01} \cup \text{SVN-02}) = P(\text{SVN-01}) + P(\text{SVN-02}) - P(\text{SVN-01} | \text{SVN-02})P(\text{SVN-02}) = 0,003 + 0,00288 - 0,90 \times 0,00288 = 0,003288$$

**Assim o risco de insucesso da etapa da CVN – Lançamento Cabo Piloto é de 0,9967 e o risco de**

# sucesso da composição das últimas rotas de sucesso é de 0,0033.

## 4.7.2 Lançamento de o cabo auxiliar Linnet

SVN -03

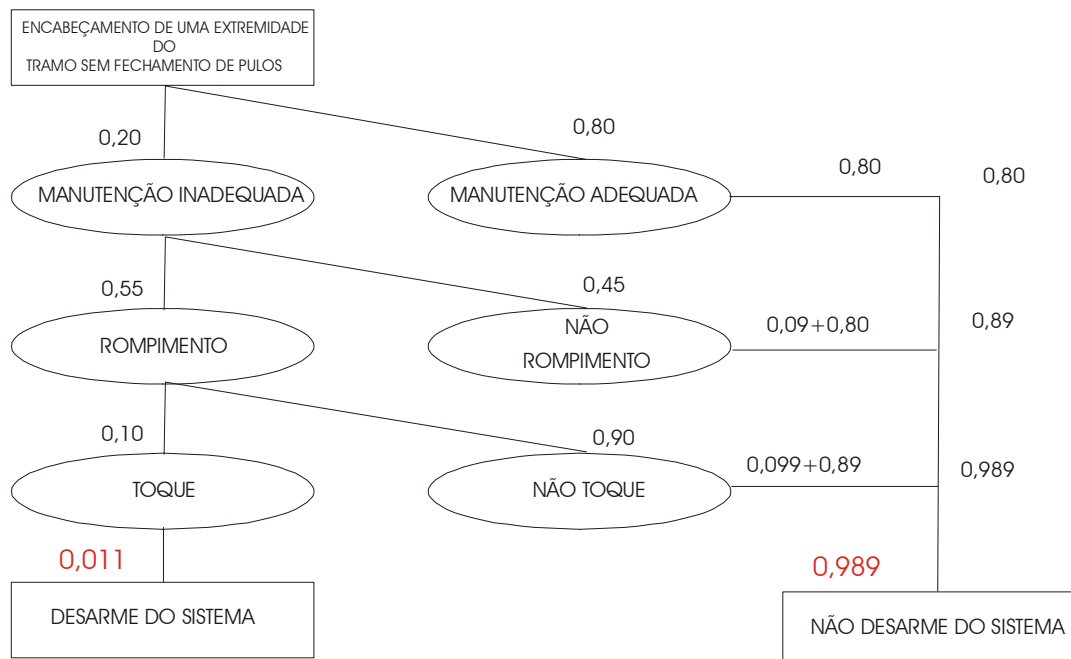


**Figura 4.24 – SVN 03**

**Assim o risco de insucesso da etapa da CVN – Lançamento Cabo Linnet Auxiliar é de 0,9999 e o risco de sucesso da última rota é de 0,0001.**

**4.7.3 Encabeçamento de uma extremidade do tramo sem fechamento de pulos**

SVN -04



**Figura 4.25 – SVN 04**

SVN -05

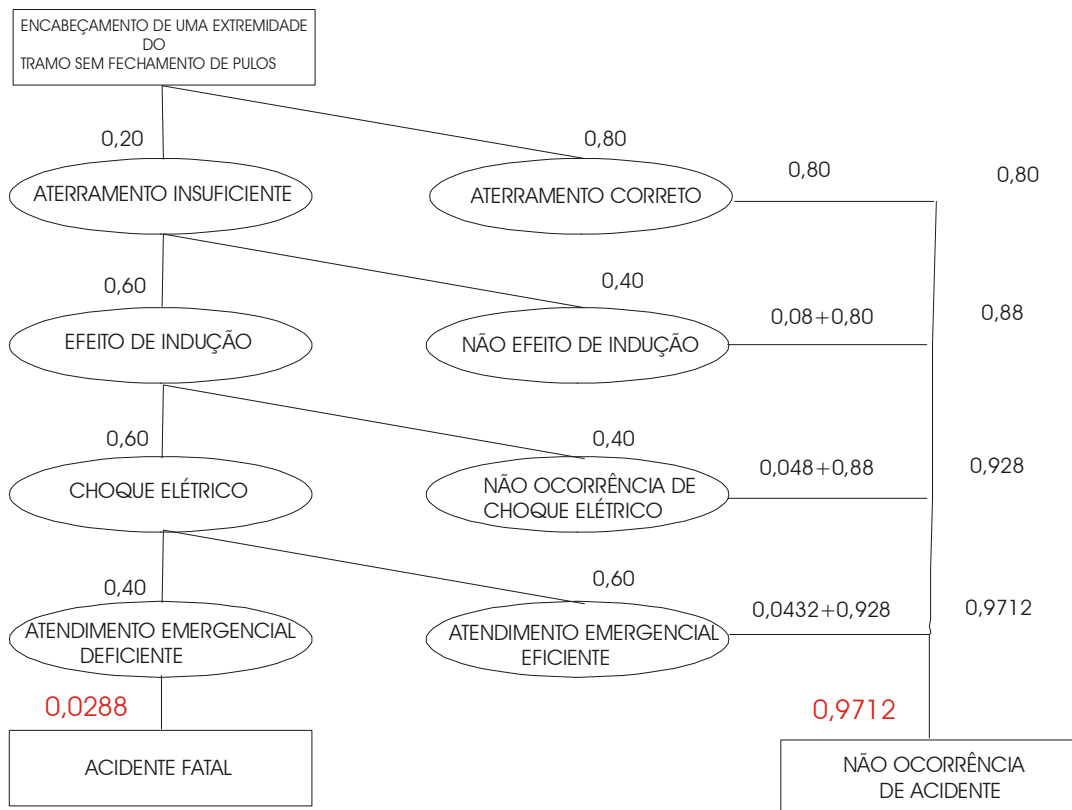


Figura 4.26 – SVN 05

Como estas duas SVN's representam uma mesma etapa, utilizaremos a teoria da união entre probabilidades e conheceremos o risco de sucesso ou insucesso na CVN.

O especialista nos informou que a probabilidade condicional de ocorrer a SVN-04 caso ocorra a SVN-05 é alta e de 90%.

Assim:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A|B)P(B)$$

Sendo  $A = \text{SVN-04}$  e  $B = \text{SVN-05}$ , temos

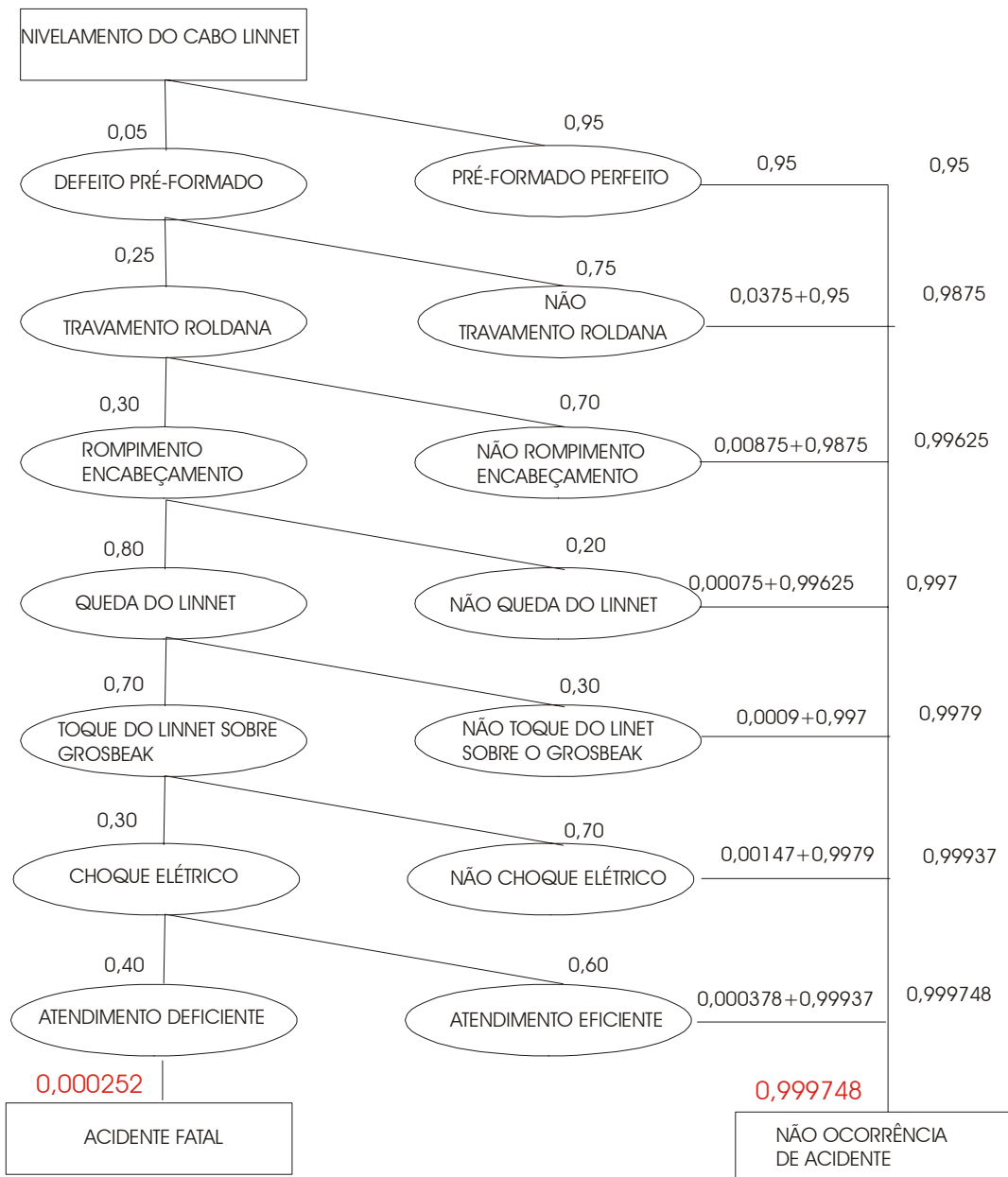
$$P(\text{SVN-04} \cup \text{SVN-05}) = P(\text{SVN-04}) + P(\text{SVN-05}) - P(\text{SVN-04}|\text{SVN-05})P(\text{SVN-05}) = 0,011 + 0,0288 - 0,90 \times 0,0288 = 0,01388$$

Assim o risco de insucesso da etapa da CVN – Encabeçamento de uma extremidade do tramo sem fechamento de pulos é de 0,0139 e o risco de sucesso da composição das últimas rotas de sucesso é de 0,9861.

#### **4.7.4 Nivelamento do cabo Linnet**

SVN –06





**Figura 4.27 – SVN 06**

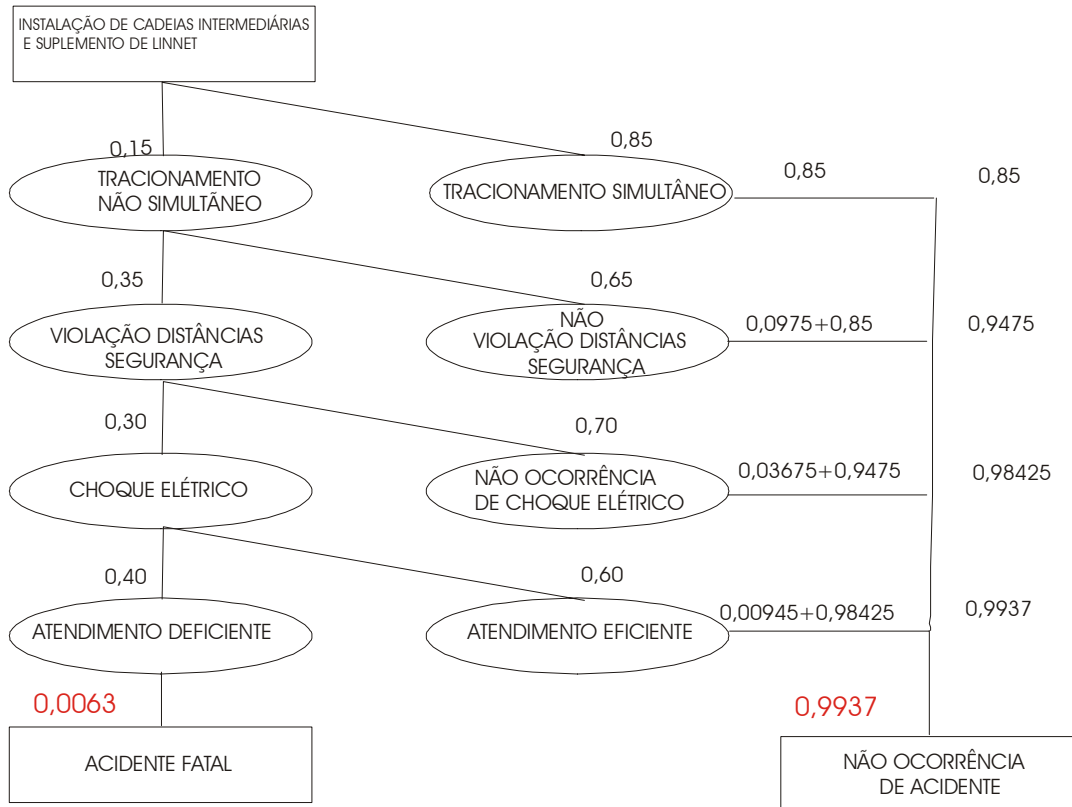
SVN –07



# sucesso da composição das últimas rotas de sucesso é de 0,9995.

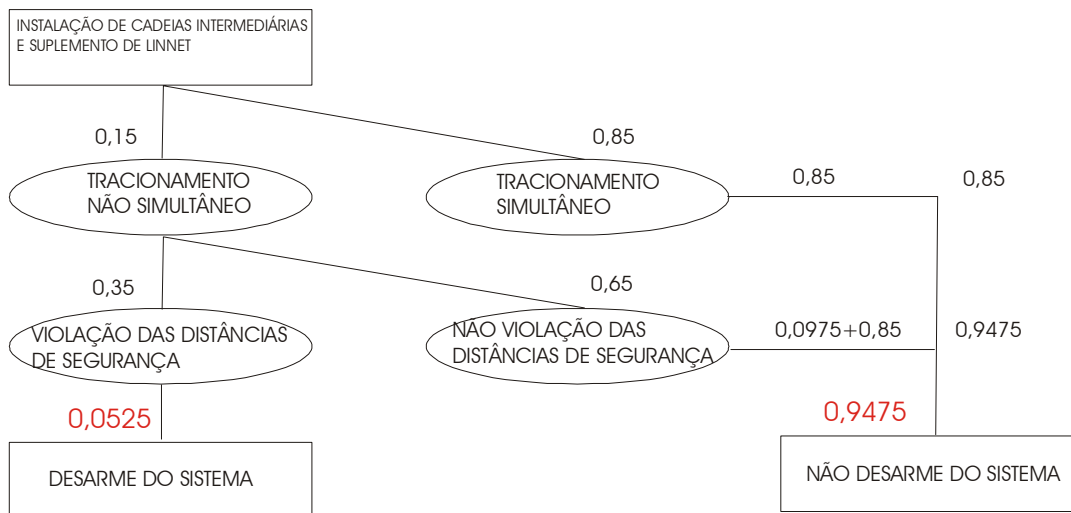
## 4.7.5 Instalação de cadeias intermediárias e suplemento de Linnet

SVN -08



**Figura 4.29 – SVN 08**

### SVN-09



**Figura 4.30 – SVN 09**

Como estas duas SVN's representam uma mesma etapa, utilizaremos a teoria da união entre probabilidades e conheceremos o risco de sucesso ou insucesso na CVN.

O especialista nos informou que a probabilidade condicional de ocorrer a SVN-08 caso ocorra a SVN-09 é alta e de 90%.

Assim:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)P(B)$$

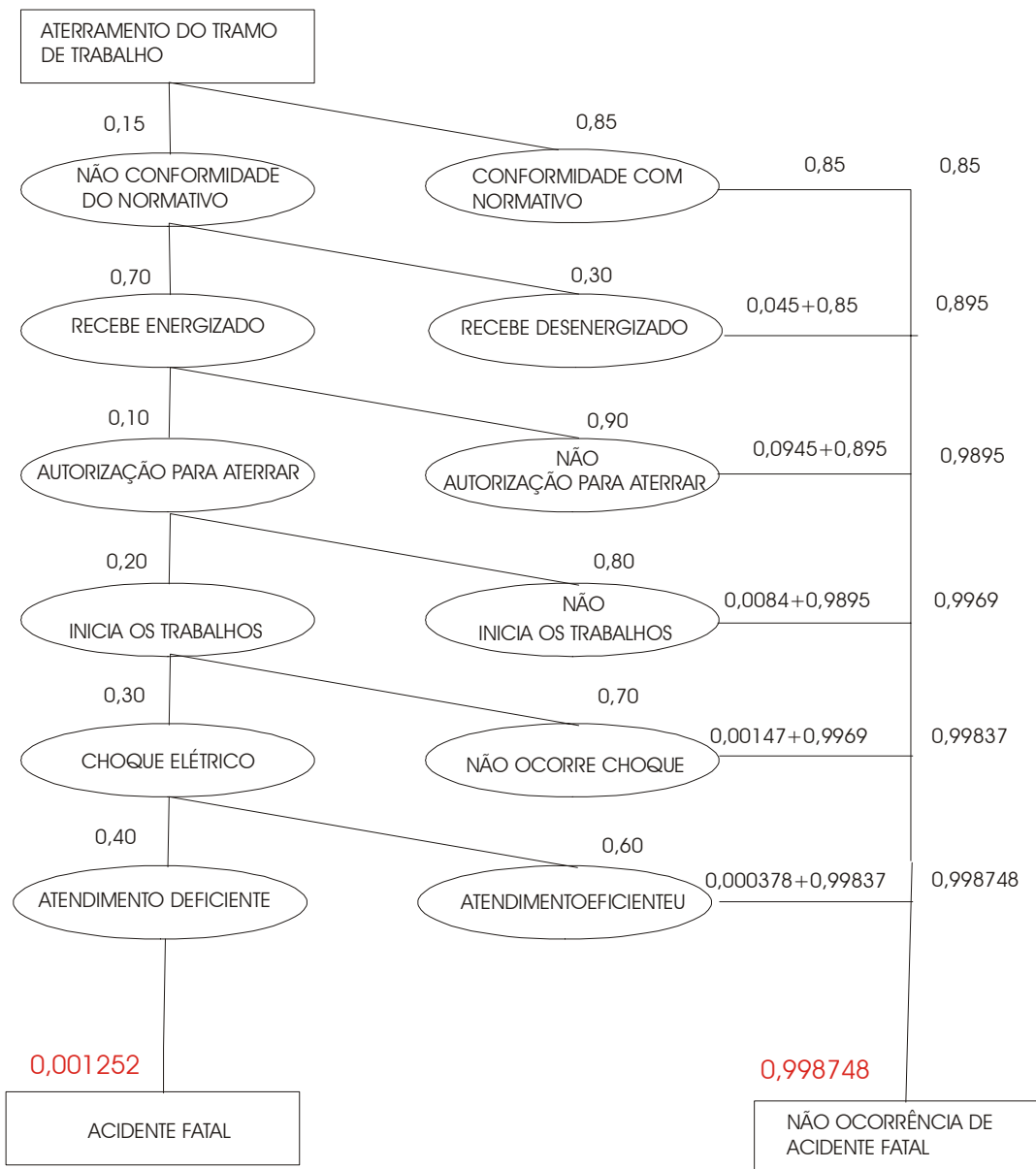
Sendo  $A = \text{SVN-08}$  e  $B = \text{SVN-09}$ , temos

$$P(\text{SVN-08} \cup \text{SVN-09}) = P(\text{SVN-08}) + P(\text{SVN-09}) - P(\text{SVN-08} \cap \text{SVN-09}) \\ P(\text{SVN-09}) = 0,0063 + 0,0525 - 0,90 \times 0,0525 = 0,01155$$

**Assim o risco de insucesso da etapa da CVN –  
Instalação de cadeias intermediárias e suplemento de  
Linnet é de 0,0115 e o risco de sucesso da  
composição das últimas rotas de sucesso é de 0,9885.**

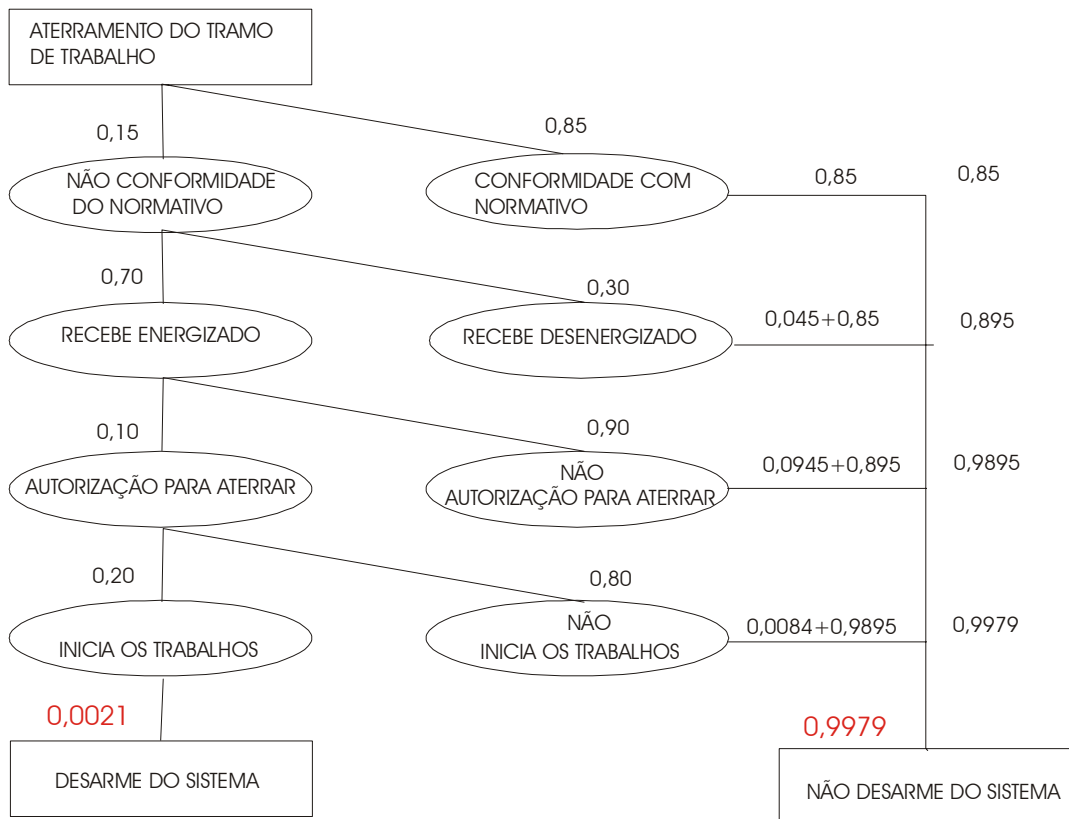
#### **4.7.6 Aterramento do tramo de trabalho**

SVN –10



**Figura 4.31 – SVN 10**

SVN-11



**Figura 4.32 – SVN 11**

Como estas duas SVN's representam uma mesma etapa, utilizaremos a teoria da união entre probabilidades e conheceremos o risco de sucesso ou insucesso na CVN.

O especialista nos informou que a probabilidade condicional de ocorrer a SVN-10 caso ocorra a SVN-11 é alta e de 90%.

**Assim:**

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A|B)P(B)$$

Sendo  $A = \text{SVN-10}$  e  $B = \text{SVN-11}$ , temos

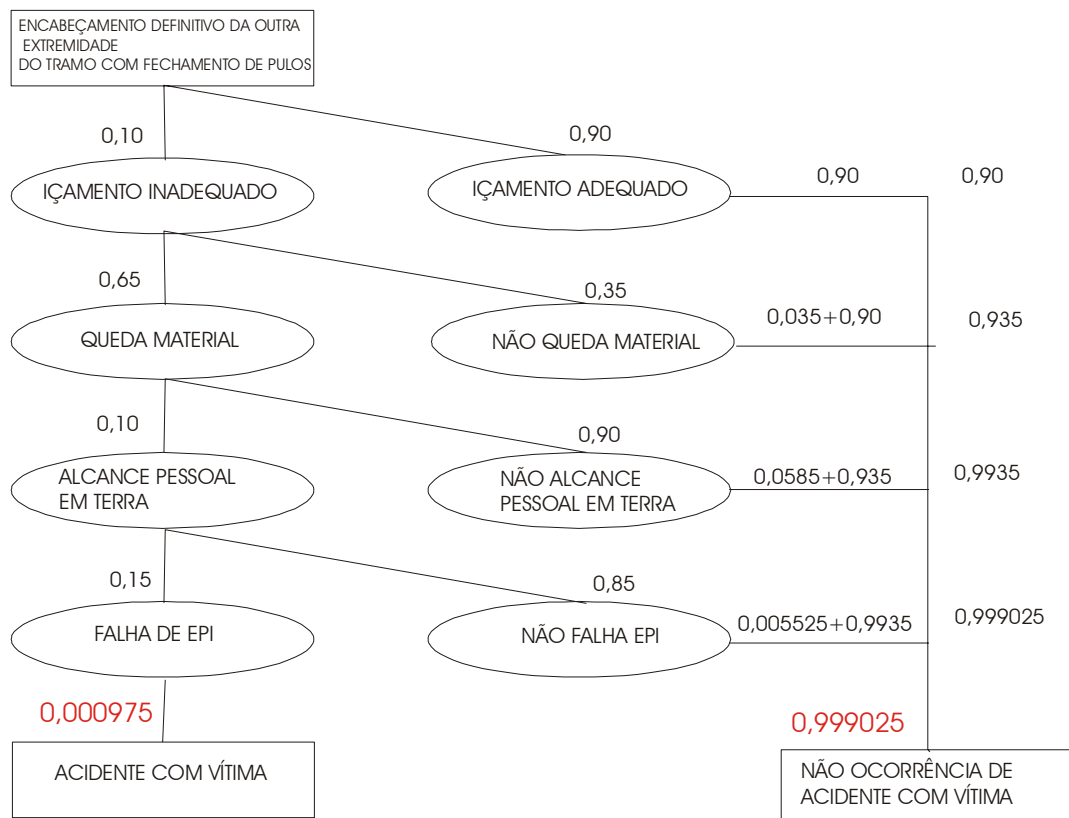
$$P(\text{SVN-10} \cup \text{SVN-11}) = P(\text{SVN-10}) + P(\text{SVN-11}) - P(\text{SVN-10} | \text{SVN-11}) P(\text{SVN-11}) = 0,001252 + 0,0021 - 0,90 \times 0,0021 = 0,001462$$

**Assim o risco de insucesso da etapa da CVN –  
Aterramento do tramo de Trabalho é de 0,0015 e o**

**risco de sucesso da composição das últimas rotas de sucesso é de 0,9985.**

**4.7.7 Encabeçamento definitivo da outra extremidade do tramo com fechamento de pulos**

SVN-12



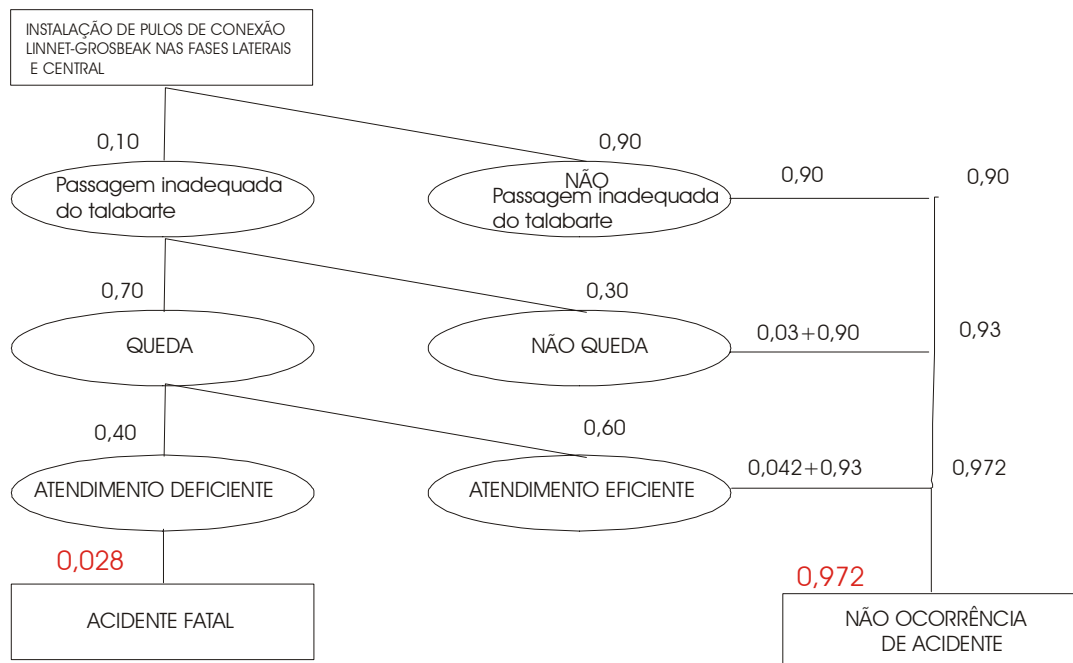
**Figura 4.33 – SVN 12**

**Assim o risco de insucesso da etapa da CVN – Encabeçamento definitivo da outra extremidade do tramo com fechamento de pulos é de 0,0001 o risco de sucesso da última rota é de 0,9999.**



#### 4.7.8 Instalação de pulos de conexão Linnet-Grosbeak nas fases lateral e central

SVN-13



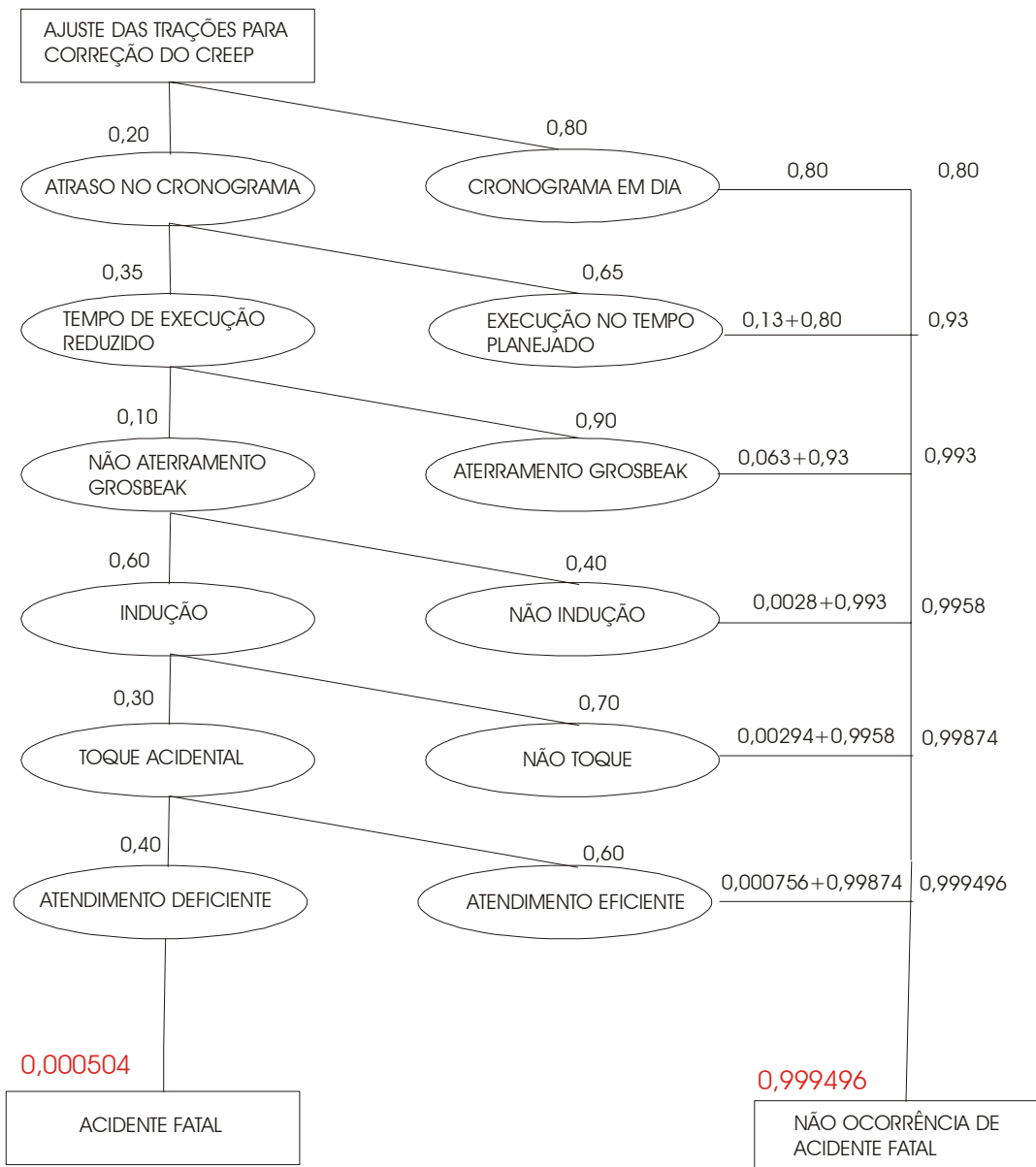
**Figura 4.34 – SVN 13**

**Assim o risco de insucesso da etapa da CVN –  
Instalação de pulos de conexão Linnet-Grosbeak nas**

**fases lateral e central é de 0,028 e o risco de sucesso da última rota é de 0,972.**

#### **4.7.9 Ajuste das trações para correção do creep**

SVN-14

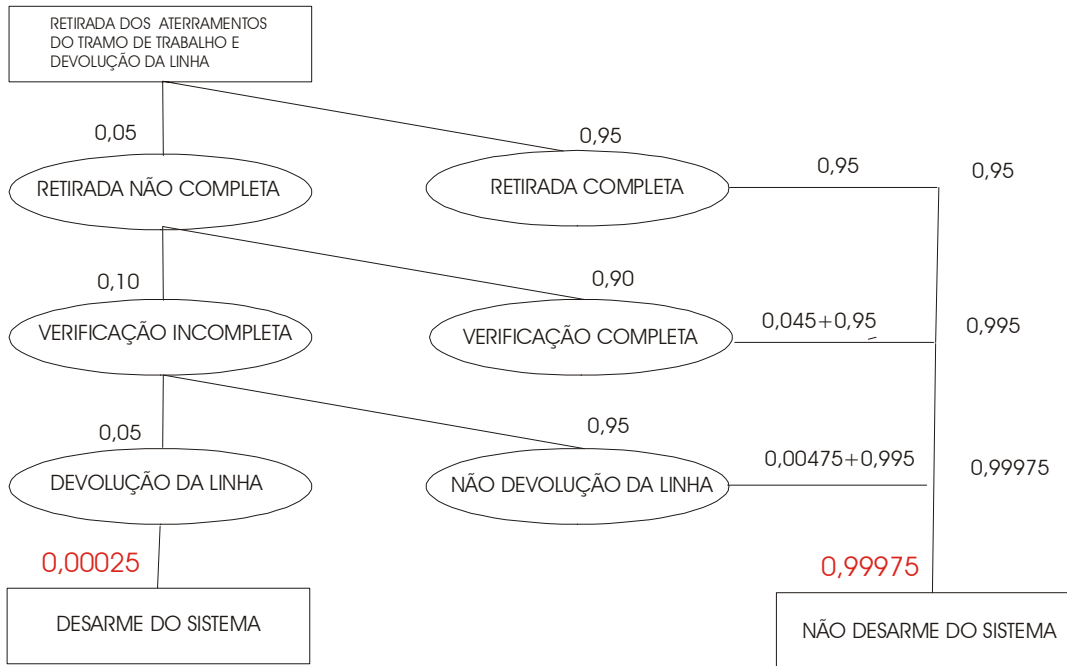


**Figura 4.35 – SVN 14**

**Assim o risco de insucesso da etapa da CVN –  
Ajuste das trações para correção de creep é de  
0,0006 e o risco de sucesso da última rota é de  
0,9994.**

**4.7.10 Retirada de aterramento do tramo de trabalho e devolução da linha**

SVN-15

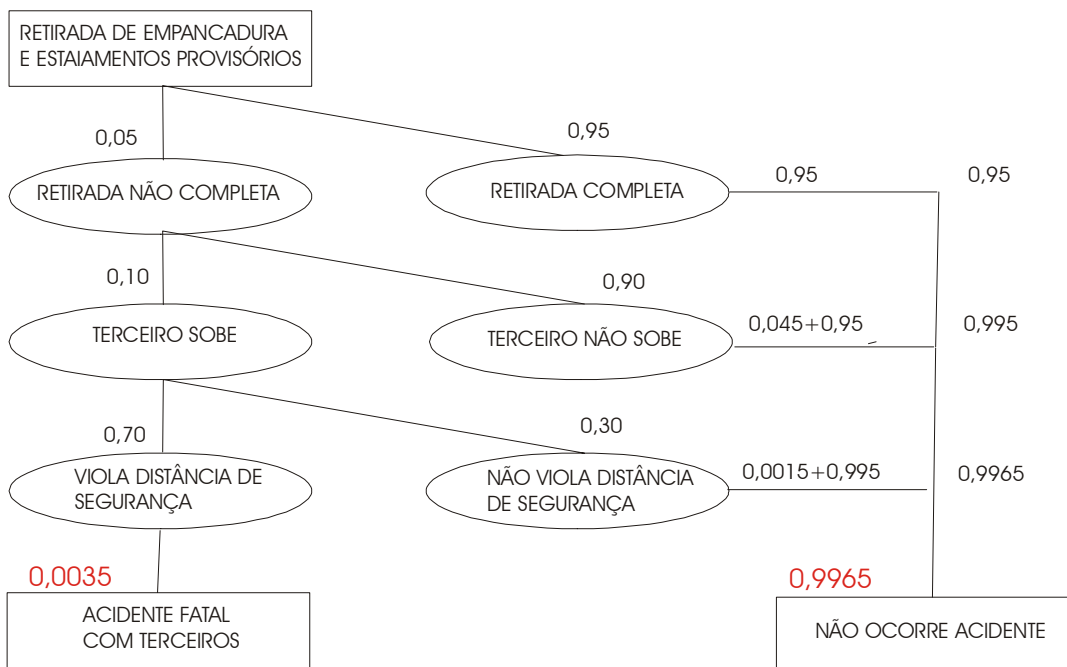


**Figura 4.36 – SVN 15**

**Assim o risco de insucesso da etapa da CVN – Retirada de aterramento do tramo de trabalho e devolução da linha é de 0,0003 e o risco de sucesso da última rota é de 0,9997.**

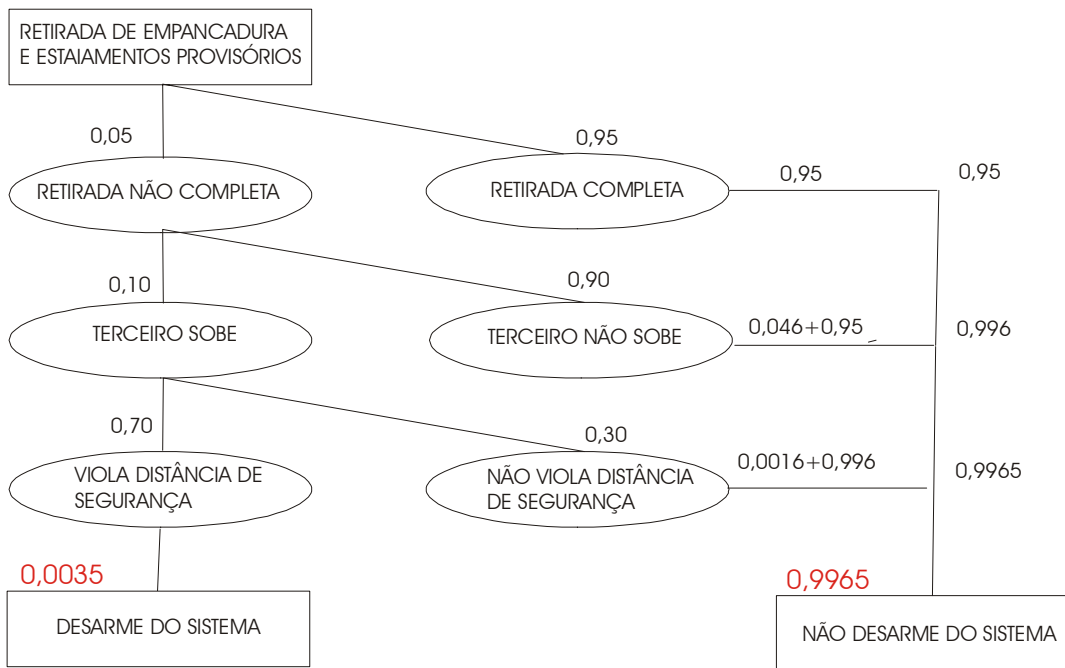
#### 4.7.11 Retirada de empancadura e estaiamentos provisórios

SVN-16



**Figura 4.37 – SVN 16**

SVN-17



**Figura 4.38 – SVN 17**

Como estas duas SVN's representam uma mesma etapa, utilizaremos a teoria da união entre probabilidades e conheceremos o risco de sucesso ou insucesso na CVN.

O especialista nos informou que a probabilidade condicional de ocorrer a SVN-16 caso ocorra a SVN-17 é alta e de 90%.

Assim:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) \cdot P(B)$$

Sendo  $A = \text{SVN-16}$  e  $B = \text{SVN-17}$ , temos

$$P(\text{SVN-16} \cup \text{SVN-17}) = P(\text{SVN-16}) + P(\text{SVN-17}) - P(\text{SVN-16} \cap \text{SVN-17}) \cdot P(\text{SVN-17}) = 0,0035 + 0,0035 - 0,90 \times 0,0035 = 0,00385$$

**Assim o risco de insucesso da etapa da CVN – Retirada de empancadura e estaiamentos provisórios é de 0,0038 e o risco de sucesso da composição das últimas rotas de sucesso é de 0,9962.**

**De posse de todos os dados referentes as SVN,  
podemos agora construir uma tabela que irá facilitar  
a construção de uma CVN, levando em  
consideração, o conhecimento à priori do  
especialista Eng. Roberval Luna da Silva. A coluna**

**de risco de sucesso, corresponde, a título de exemplo, a última rota de cada SVN ou da adição destas quando forem mais de uma, já que o risco de sucesso representa um conjunto de soluções de ações baseado nas diversas rotas das várias SVN.**

**Tabela 4.2 - Tabela para Construção da CVN – Especialista Eng. Roberval Luna da Silva**

<b>ETAPAS</b>	<b>SVN's</b>	<b>SUCESSO</b>	<b>INSUCESSO</b>
Lançamento cabo piloto	01+02	0,9967	0,0033
Lançamento cabo linnet auxiliar	03	0,9999	0,0001
Encabeçamento de uma extremidade do tramo sem fechamento de pulos	04+05	0,9861	0,0139
Nivelamento do cabo Linnet	06+07	0,9995	0,0005
Instalação de cadeias intermediárias e suplemento de linnet	08+09	0,9885	0,0115
Aterramento do tramo de trabalho	10+11	0,9985	0,0015
Encabeçamento definitivo da outra extremidade do tramo com fechamento de pulos	12	0,9999	0,0001
Instalação de pulos de conexão Linnet-Grosbeak nas fases laterais	13	0,972	0,028
Instalação de pulos de conexão Linnet-Grosbeak nas fases centrais	13	0,972	0,028
Ajuste das trações para correção de creep	14	0,9994	0,0006
Retirada de aterramento do tramo de trabalho e devolução da linha	15	0,9997	0,0003
Retirada de empancadura e estaiamentos provisórios	16+17	0,9962	0,0038



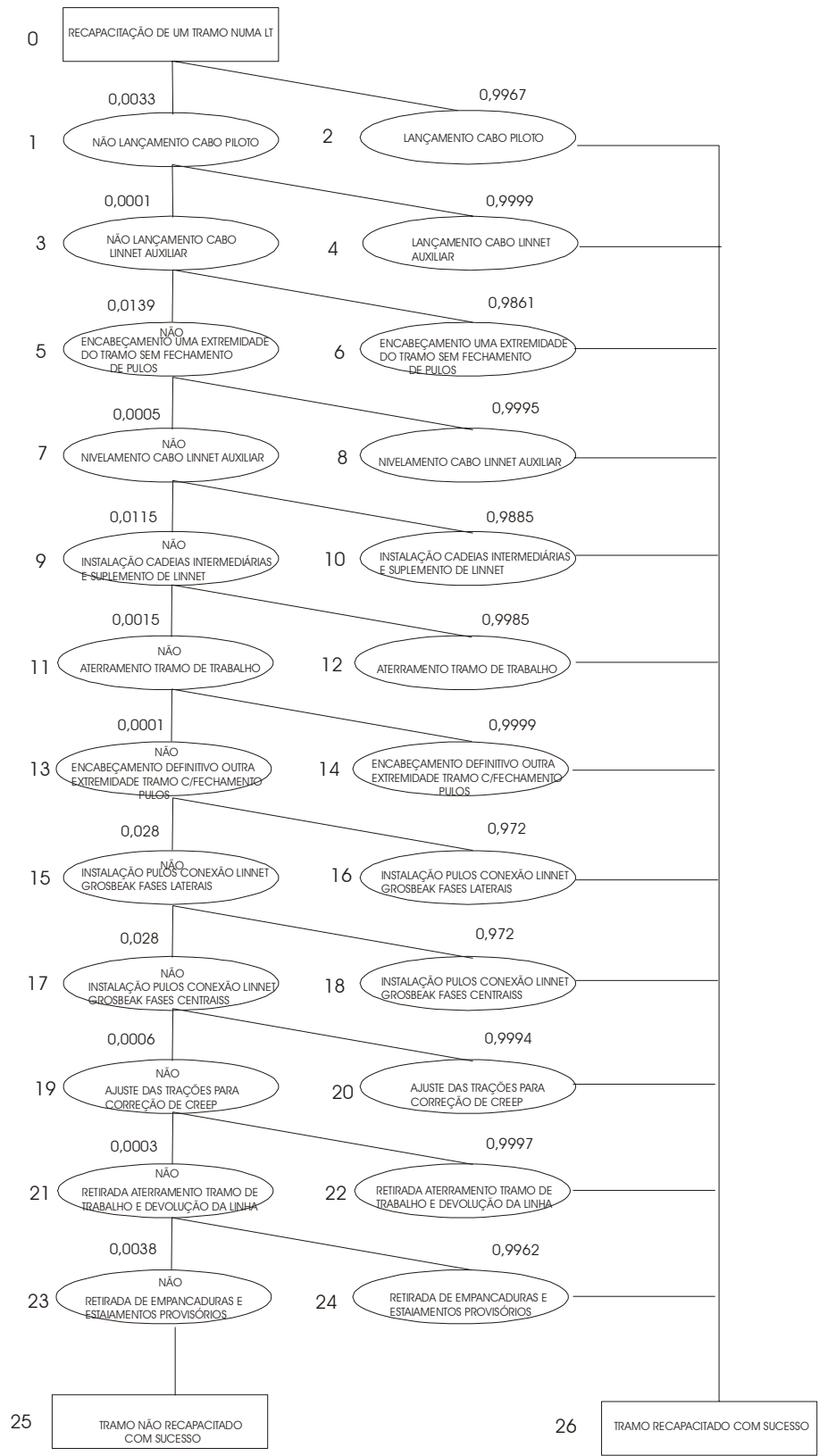


Figura 4.39 – CVN Especialista 2

Como pudemos observar, o estudo para construção da CVN, não está conclusivo, pois teremos que construir o conjunto de soluções de ações, para montarmos uma matriz de decisão, para assim delinear melhor a construção da CVN e sua relevância no processo.

Entendemos que o processo de educação também não está conduzido da melhor forma de modo a corrigirmos as distorções da opinião dos especialistas, descritas no item 4.4.

Acreditamos que se pudermos efetuar uma combinação das opiniões dos dois especialistas, poderíamos obter valores mais próximos do valor real.

No próximo capítulo sugerimos como recomendação para futuros trabalhos, o aprofundamento do estudo da análise de decisão, de como melhorarmos a educação e de como combinarmos a opinião dos especialistas.

## **5 CONCLUSÃO**

### **5.1 Energia e Desenvolvimento**

A cada ano novos processos tecnológicos são incorporados ao setor elétrico mundial. Uma dessas tecnologias de ponta é a Recapacitação de Linhas de Transmissão.

De maneira geral a recapacitação é um processo para se aumentar ou se restabelecer a capacidade de um sistema. No caso de linhas de transmissão, recapacitar poderá significar, desde trocar os cabos condutores de eletricidade como usar a técnica de feixe expandido, apresentada no primeiro e segundo capítulos deste trabalho.

Recapacitar linhas de transmissão com a técnica de feixe expandido, representa uma das novas tecnologias que são introduzidas. De maneira geral novas tecnologias trazem novos perigos.

Recapacitar Linhas de Transmissão com baixos riscos de insucesso, representa em última instância, contribuir para o desenvolvimento com menores custos, menor impacto ambiental, e se tivermos os riscos controlados, com preservação da integridade dos trabalhadores, daí a importância de agregarmos novas e mais eficientes ferramentas de identificação de perigos nestes processos tecnológicos.

Neste trabalho mostramos que é viável adaptar os diagramas lógicos propostos inicialmente para gerenciamento de riscos de incêndios em edificações para a recapacitação de LT com a técnica de feixe expandido. A ferramenta atendeu ao encadeamento dos processos dando uma visão dos perigos associados em cada SVN. A ferramenta possui uma forma de apresentação aos envolvidos no processo que facilita a visualização e comunicação dos perigos de forma clara, fácil e eficiente sem que seja necessário maior conhecimento. Além disso, o conjunto de ações solucionadoras construído a partir das rotas das SVN, permite formar uma matriz de soluções multicritério para apoio a decisão. No capítulo 4, vimos que a partir do conhecimento a priori de especialistas, podemos agregar análises quantitativas. Desta forma podemos ter uma ferramenta completa com análises qualitativas e quantitativas para a identificação de perigos. Entretanto, a construção da CVN, a partir das várias SVN, ainda não está totalmente clara e conclusiva. Precisamos avançar na construção do conjunto de ações solucionadoras para termos uma melhor visão da relevância da CVN.

### **5.2 Recomendações para futuros trabalhos**

A elaboração das matrizes de decisão multicritério a partir das diversas rotas das SVN construídas, representa uma linha de estudo que deverá trazer um avanço necessário para a consolidação da ferramenta. A utilização de métodos de decisão multicritério devem ser testados.

Outro ponto que acreditamos ser importante para trabalhos futuros é a utilização de técnicas de educação para obtenção dos dados fornecidos pelos especialistas. Poderemos utilizar uma metodologia proposta pelo Professor Fernando Campello no seu livro ainda não publicado, “Decisões Racionais em Situações de Incerteza” [18].

Entendemos que com estas sugestões poderemos avançar na consolidação desta ferramenta e construirmos uma boa metodologia de identificação de perigos para empreendimentos como a recapacitação de linhas de transmissão com a técnica de feixe expandido.

## 6 BIBLIOGRAFIA

- [1] ALEXANDROV, G. *Novos meios de transmissão de energia elétrica*. Editora Universidade de Leningrado. Leningrado, 1987
- [2] PESSOA A. Neto, Régis O. Jr., Maia M. In: Encontro Regional Latinoamericano de la Cigrè, 1993, *LPNE : Um exercício de prospecção em 69Kv e 138Kv*
- [3] OSVALDO R. In: Seminário Nacional de Produção e transmissão de Energia Elétrica, XII, 1993, *LPNE : Estudos paramétricos para utilização em 69Kv e 138Kv*
- [4] PESSOA A. Neto, Régis O. Jr., Maia M., Lisboa A., Fernandes C., Podporkin G., In: Bracier Suprom Encontro Técnico, 1994, *Utilização do conceito em linhas convencionais para aumento da capacidade de transmissão*
- [5] REGIS O. Jr., Cavalcanti S. G., Wavrik J. F., Maia M., Podporkin G., In: Seminário Nacional de Produção e transmissão de Energia Elétrica, XIII, 1995, *Recapacitação de circuitos 230Kv com o conceito de feixe expandido*
- [6] ALEXANDROV G., Nosov I, M., In: CIGRÈ PARIS, 1996, *The increase of effectiveness of transmission lines and their corridor utilization*
- [7] REGIS O. Jr., Cavalcanti S. G., Pessoa A. Neto, Dart F. In: Seminário Nacional de Produção e transmissão de Energia Elétrica, XIV, 1997, *Estudos e aplicação do feixe expandido em LT de 500Kv*
- [8] REGIS O. Jr., Cavalcanti S. G., Pessoa A. Neto, Dart F., Maia M., Domingues C. L. A., In: CIGRÈ PARIS, 1998 *Expanded bundle technique : the application of HSIL TL concept to increase the capacity of overhead lines*
- [9] REGIS O. Jr., Cavalcanti S. G., Pessoa A. Neto, Dart F., Domingues C. L., Sarmiento J. Sobrinho, Silva R. L da, In: Seminário Nacional de Produção e transmissão de Energia Elétrica, XV, 1999, *Novos métodos para aumentar a potência de linhas de 230Kv*
- [10] PESSOA A. Neto. Novos métodos para aumentar a potência de linhas de 230Kv. *Revista Mundo Elétrico*, Abril, 2000
- [11] EPRI, 1978, Transmission LINE Reference Book 115-138KV. *Compact Line Design*
- [12] Medidas de Segurança a serem adotadas durante a Construção de Linhas de Transmissão Paralelas a outras Linhas de 500KV Energizadas. CEMIG, Manual Técnico da Diretoria de Projetos e Construções, Belo Horizonte, 1994

- [13] AIChE Center for Chemical Process Safety, “Guidelines for Hazard Evaluation Procedures 2<sup>nd</sup> ed”, American Institute for Chemical Engineer, New York, pp.51-72 (1992)
- [14] Fitzgerald, R., “The anatomy of the building firesafety volume 1”, unpublished book
- [15] Thiago, T.P., “Gerenciamento dos riscos de incêndios uma nova maneira de pensar” Master thesis, Universidade Federal de Pernambuco-Brazil (October 2000).
- [16] Cálculo de Probabilidades – Editora USP
- [17] Lopes E. , Elicitation and use Expert Opinion in Reability and Risk Assessment, unpublished
- [18] Fernando Menezes Campello de Souza, (2001), Decisões Racionais em Situações de Incerteza. Livro em preparação