



PD-06491-0511/2018

**SISTEMA DE MONITORAMENTO E
AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DA
CAPACIDADE DE INTERRUPÇÃO DE
DISJUNTORES**

Ano 1

DOCUMENTO RESTRITO

**CLAILTON LEOPOLDO DA SILVA – COPEL GeT
GERMANO LAMBERT-TORRES - INSTITUTO GNARUS**

**CURITIBA – ITAJUBÁ
2020**

PD-06491-0511/2018

**SISTEMA DE MONITORAMENTO E
AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DA
CAPACIDADE DE INTERRUPÇÃO DE
DISJUNTORES**

1. Projeto	3
2. Relatórios Mensais	55
3. Relatórios de Etapa	339
4. Solicitações de Ajuste	827
5. Processos de Compra	850

Ano 1

DOCUMENTO RESTRITO

**CLAILTON LEOPOLDO DA SILVA – COPEL GeT
GERMANO LAMBERT-TORRES - INSTITUTO GNARUS**

**CURITIBA – ITAJUBÁ
2020**

PD-06491-0511/2018

**SISTEMA DE MONITORAMENTO E
AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DA
CAPACIDADE DE INTERRUPÇÃO DE
DISJUNTORES**

Projeto

Ano 1

DOCUMENTO RESTRITO

**CLAILTON LEOPOLDO DA SILVA – COPEL GeT
GERMANO LAMBERT-TORRES - INSTITUTO GNARUS**

**CURITIBA – ITAJUBÁ
2020**

Identificação

Título

SISTEMA DE MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DA CAPACIDADE DE
INTERRUPÇÃO DE DISJUNTORES

Gerente do projeto

CLAILTON LEOPOLDO DA SILVA

[REDACTED]

Coordenador do projeto

GERMANO LAMBERT TORRES

[REDACTED]

Gerente do programa

[REDACTED]

[REDACTED]

Empresa proponente

Razão social: COPEL GERAÇÃO E TRANSMISSÃO S.A.

Nome fantasia: COPEL GET

Empresa(s) executora(s)

Razão social: INSTITUTO GNARUS

Nome fantasia: GNARUS

Duração do projeto

[REDACTED]

Valor total contratante

[REDACTED]

Valor total contratada

[REDACTED]

Valor total projeto

[REDACTED]

Resumo

Este projeto visa desenvolver uma metodologia, e aplicá-la em um protótipo, para avaliação preditiva das condições operacionais de disjuntores, baseado na informação fornecida durante a operação de abertura e fechamento de seus polos, associada com uma mineração inteligente dos dados do histórico. Outro objetivo dessa metodologia é criar modelos capazes de avaliar os diversos aspectos relacionados à manutenção dos disjuntores. Pretende-se poder responder a questões referentes à conformidade do histórico de eventos nos disjuntores com os valores especificados pelos fabricantes, à estimação do custo de manutenção em função das condições de operação e dos disjuntores, à influência de fatores tais como a topologia da rede no desempenho dos equipamentos etc. Para dar apoio à metodologia desenvolvida, o projeto confeccionará um programa de Data Analytics voltado para a manutenção de disjuntores. O sistema desenvolvido será testado em laboratório e instalado em uma subestação da COPEL.

PD-06491-0511/2018

**SISTEMA DE MONITORAMENTO E
AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DA
CAPACIDADE DE INTERRUPÇÃO DE
DISJUNTORES**

Relatórios Mensais

Ano 1

DOCUMENTO RESTRITO

**CLAILTON LEOPOLDO DA SILVA – COPEL GeT
GERMANO LAMBERT-TORRES - INSTITUTO GNARUS**

**CURITIBA – ITAJUBÁ
2020**

PD-06491-0511/2018

**SISTEMA DE MONITORAMENTO E
AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DA
CAPACIDADE DE INTERRUPÇÃO DE
DISJUNTORES**

Relatórios de Etapa

Ano 1

DOCUMENTO RESTRITO

**CLAILTON LEOPOLDO DA SILVA – COPEL GeT
GERMANO LAMBERT-TORRES - INSTITUTO GNARUS**

**CURITIBA – ITAJUBÁ
2020**

PD-06491-0511/2018

**SISTEMA DE MONITORAMENTO E
AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DA
CAPACIDADE DE INTERRUÇÃO DE
DISJUNTORES**

**Relatório da Etapa 01: Revisão
Bibliográfica**

DOCUMENTO RESTRITO

**CLAILTON LEOPOLDO DA SILVA – COPEL GeT
GERMANO LAMBERT-TORRES - INSTITUTO GNARUS**

**CURITIBA / ITAJUBÁ / ITAJUBÁ
2020**



INSTITUTO GNARUS

P&D em Monitoramento e Controle

INSTITUTO GNARUS

CNPJ/MF 07.863.331/0001-02

Rua Cel. Francisco Braz, 185 - Sala 302 - Centro, Itajubá - MG, 37500-052

PD-06491-0511/2018 SISTEMA DE MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DA CAPACIDADE DE INTERRUPÇÃO DE DISJUNTORES

Relatório da Etapa 01: Revisão Bibliográfica

DOCUMENTO RESTRITO

**CLAILTON LEOPOLDO DA SILVA – COPEL GeT
GERMANO LAMBERT-TORRES - INSTITUTO GNARUS**

**CURITIBA / ITAJUBÁ
2020**

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	DESENVOLVIMENTO DA ETAPA.....	13
2.1	DESENVOLVIMENTOS POR ÁREA DE ATUAÇÃO	13
2.2	OBJETIVOS DO PROJETO.....	14
2.3	ESTADO DA ARTE E TRABALHOS CORRELATOS	15
2.3.1	Revisão dos principais trabalhos sobre deterioração de disjuntores.....	15
2.3.2	Revisão dos principais trabalhos sobre data analytics	17
2.3.3	Revisão dos projetos de P&D da ANEEL para outras empresas	18
2.3.4	Revisão dos projetos correlatos desenvolvidos por este grupo de pesquisa...	19
3	REVISÃO SOBRE DISJUNTORES DE ALTA POTÊNCIA.....	21
3.1	CONCEITOS BÁSICOS	21
3.1.1	Definição	21
3.1.2	Principais funções dos disjuntores.....	22
3.1.3	Componentes principais	22
3.1.4	Princípio de funcionamento	24
3.2	CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DOS DISJUNTORES.....	24
3.2.1	Disjuntores a grande volume de óleo (GVO)	24
3.2.2	Disjuntores a pequeno volume de óleo (PVO)	25
3.2.3	Disjuntores a ar comprimido	26
3.2.4	Disjuntores a vácuo.....	27
3.2.5	Disjuntores a SF ₆	28
3.3	CIRCUITOS DE CONTROLE.....	29
3.3.1	Introdução.....	29
3.3.2	Funções principais em um circuito de controle.....	29

3.4	TENSÃO TRANSITÓRIA DE RESTABELECIMENTO (TTR)	32
3.4.1	Introdução	32
3.4.2	Características e fatores de influência	32
3.4.3	Análise da TTR	34
3.4.4	Modelagem da TTR.....	36
3.4.5	Defeito quilométrico	38
3.5	O ARCO ELÉTRICO	39
3.5.1	Definição.....	39
3.5.2	Formação e extinção do arco	40
3.5.3	Técnicas de interrupção	47
3.6	ESPECIFICAÇÃO SEGUNDO AS NORMAS IEC/ABNT	61
3.6.1	Tensão nominal	62
3.6.2	Nível de isolamento.....	62
3.6.3	Frequência nominal.....	63
3.6.4	Corrente nominal	63
3.6.5	Corrente nominal de interrupção	63
3.6.6	Breve estudo sobre a corrente de curto circuito	64
3.6.7	Corrente de estabelecimento nominal de curto-circuito	72
3.6.8	Corrente de curta duração admissível	72
3.6.9	Valor de crista da corrente admissível	73
3.6.10	Duração nominal admissível do curto-circuito	73
3.6.11	Sequência nominal de operação	73
3.6.12	Fator de primeiro polo	75
3.7	ESPECIFICAÇÕES SEGUNDO A NORMAL ANSI.....	76
3.7.1	Tensão nominal	76
3.7.2	Fator de Faixa de Tensão – FFT	76

3.7.3	Retardo permissível no desligamento	77
3.7.4	Valores nominais de curto circuito	77
3.7.5	Corrente nominal de curto circuito	78
3.7.6	Capacidade correlatas.....	78
3.7.7	Tensões suportáveis à frequência industrial e a impulsos	79
4	REVISÃO DA ÁREA DE SENSORES E COMUNICAÇÃO	81
4.1	PREÂMBULO	81
4.2	TIPOS DE SENSORES E ATUADORES PELA APLICAÇÃO	83
4.3	TIPOS DE SENSORES INDUSTRIAIS PELO PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	85
4.3.1	Sensores de Pressão	86
4.3.2	Sensores Ultrassônicos	86
4.3.3	Sensores Magnéticos	87
4.3.4	Sensores Fotoelétricos.....	88
4.3.5	Sensores Indutivos	89
4.3.6	Sensores Capacitivos.....	89
4.4	REDES DE SENSORES SEM FIO	90
4.4.1	Princípios das Redes de Sensores Sem Fio	92
4.4.2	Princípios das Redes de Sensores Sem Fio	94
4.4.3	Estrutura de um nó de sensor sem fio.....	96
4.5	ESTRUTURA DE UMA REDE DE SENSORES SEM FIO	98
4.5.1	Rede estrela	98
4.5.2	Rede malhada ou rede mesh	98
4.5.3	Rede híbrida	99
4.6	CLASSIFICAÇÃO DAS REDES DE SENSORES SEM FIO	100
4.7	ESTRUTURA DE COMUNICAÇÃO DE UMA REDE DE SENSORES SEM FIO.....	102
4.8	PROTOCOLOS E ALGORITMOS DE REDE DE SENSORES SEM FIO	104

4.8.1	1. Roteamento por Inundação	105
4.8.2	Roteamento aleatório	106
4.8.3	Hierarquia de agrupamento adaptativo de baixa energia (LEACH)	106
4.8.4	Protocolos energeticamente eficientes sensíveis ao limiar (TEEN e APTEEN)	107
4.8.5	Roteamento por coleta eficiente em sistemas de informação de sensores (PEGASIS).....	108
4.8.6	Difusão dirigida.....	109
4.8.7	Fidelidade Adaptativa Geográfica (GAF):	109
4.9	APLICAÇÕES DE REDES DE SENSORES SEM FIO E A INTERNET DAS COISAS (IOT) ...	110
4.9.1	Sensores de Temperatura	110
4.9.2	Sensor de proximidade.....	111
4.9.3	Sensor de pressão	112
4.9.4	Sensor de qualidade da água	113
4.9.5	Sensor químico	114
4.9.6	Sensor de gás.....	114
4.9.7	Sensor de fumaça	114
4.9.8	Sensores de infravermelho	115
4.9.9	Sensores de nível.....	116
4.9.10	Sensores de imagem	116
4.9.11	Sensores de detecção de movimento	117
4.9.12	Sensores de acelerômetro	118
4.9.13	Sensores giroscópios	119
4.9.14	Sensores de umidade	120
4.9.15	Sensores ópticos.....	120
4.10	SEGURANÇA DE REDE	121

4.11	CONCLUSÃO DESTA SEÇÃO	123
5	REVISÃO DA ÁREA DE PROCESSAMENTO DE SINAIS E SISTEMAS INTELIGENTES	125
5.1	PREÂMBULO	126
5.2	PROCESSOS DE MINERAÇÃO DE DADOS	127
5.2.1	Tipos de Dados Mineráveis.....	130
5.2.2	Tipos de Conhecimentos extraídos pelo KDD.....	133
5.2.3	Modelos utilizados pelo KDD	137
5.3	METODOLOGIA CRISP-DM	139
5.3.1	Fases da Metodologia CRISP-DM.....	140
5.3.2	Aspectos da Metodologia CRISP-DM	142
5.3.3	O Relacionamento da Metodologia CRISP-DM com a Inteligência Artificial..	143
5.4	PLANEJAMENTO DE UM PROJETO E TIPOS DE DADOS	144
5.4.1	Extração dos Dados.....	145
5.4.2	Montagem das Tabelas de Dados.....	147
5.4.3	Tipos de Atributos.....	148
5.4.4	Domínio dos Atributos	150
5.4.5	Valores em Branco ou Nulos.....	151
5.4.6	Variáveis Ordenáveis e Categóricas.....	152
5.4.7	Chaves Primárias e Índices Únicos.....	154
5.4.8	Limpeza da Base de Dados.....	154
5.5	APRENDIZAGEM DE MÁQUINA	156
5.5.1	Aprendizado Supervisionado e Não Supervisionado.....	157
5.5.2	Métodos e Modelos de Aprendizado	158
5.5.3	Conjuntos de Treinamento e Teste	162
5.5.4	Ajuste de Parâmetros e Desempenho	163
5.5.5	Validação Cruzada.....	164

5.5.6	Binômio Viés-Variância.....	165
5.5.7	Modelos de Previsão	166
5.6	ÁRVORE DE DECISÃO	169
5.6.1	Árvores Binárias.....	170
5.6.2	Os Stumps.....	172
5.6.3	Processo de Partição Recursiva	173
5.6.4	Índice de Impureza e Ganho de Informação	174
5.6.5	Valor Limite	176
5.6.6	Critérios de Parada	179
5.6.7	Árvores de Decisão para Previsão	179
5.7	TÉCNICAS DE BIG DATA.....	180
5.7.1	Fluxos de Dados.....	181
5.7.2	Média e Variância com Fluxos de Dados.....	183
5.7.3	Amostragem sem Reposição	184
5.7.4	Amostragem com Reposição	187
5.8	CONCLUSÃO DESTA SEÇÃO.....	190
6	RESULTADOS DA ETAPA.....	193
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	195
8	REFERÊNCIAS.....	197
8.1	REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO 2	197
8.2	REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO 3	200
8.3	REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO 4	201
8.4	REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO 5	203

PD-06491-0511/2018

**SISTEMA DE MONITORAMENTO E
AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DA
CAPACIDADE DE INTERRUÇÃO DE
DISJUNTORES**

**Relatório da Etapa 02: Estudo do
Disjuntor e da Estrutura do
Projeto**

DOCUMENTO RESTRITO

**CLAILTON LEOPOLDO DA SILVA – COPEL GeT
GERMANO LAMBERT-TORRES - INSTITUTO GNARUS**

**CURITIBA / ITAJUBÁ
2020**

INSTITUTO GNARUS

CNPJ/MF 07.863.331/0001-02

Rua Cel. Francisco Braz, 185 - Sala 302 - Centro, Itajubá - MG, 37500-052

PD-06491-0511/2018 SISTEMA DE MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DA CAPACIDADE DE INTERRUPÇÃO DE DISJUNTORES

Relatório da Etapa 02: Estudo do Disjuntor e da Estrutura do Projeto

DOCUMENTO RESTRITO

**CLAILTON LEOPOLDO DA SILVA – COPEL GeT
GERMANO LAMBERT-TORRES - INSTITUTO GNARUS**

**CURITIBA / ITAJUBÁ
2020**

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	DESENVOLVIMENTO DA ETAPA.....	11
2.1	DESENVOLVIMENTOS POR ÁREA DE ATUAÇÃO	11
2.2	OBJETIVOS DO PROJETO.....	14
2.3	TIPOS DE DISJUNTORES DE ENXOFRE HEXAFLUORETO (SF6)	15
2.3.1	Propriedades do Disjuntor de Hexafluoreto de Enxofre	15
2.3.2	Construção de Disjuntores SF6.....	16
2.3.3	Princípio de trabalho do Disjuntores SF6	17
2.3.4	Vantagens e Desvantagens Construtivas do Disjuntores SF6	18
2.4	CARACTERÍSTICA DO DISJUNTOR SF6 ALSTOM GLX314X	19
2.5	TIPOS DE DISJUNTORES CONCORRENTES DOS DISJUNTORES SF6.....	21
2.5.1	Disjuntores à Vácuo	21
2.5.2	Disjuntores SF6 vs Outros Disjuntores.....	22
2.5.3	Vantagens e Desvantagens Operativas dos Disjuntores SF6.....	23
2.6	CARACTERÍSTICAS DOS DISJUNTORES SF6	27
2.6.1	Classes de proteção para instalação dos disjuntores SF6	27
2.6.2	Características Nominais dos Disjuntores SF6.....	28
2.6.3	Tensão Nominal	29
2.6.4	Nível de Isolamento Nominal	29
2.6.5	Frequência Nominal e Corrente Normal Nominal.....	30
2.6.6	Corrente suportável nominal de curto período e de interrupção.....	31
2.6.7	Tensões Transitórias	32
2.6.8	Tempos das Sequências de Operação	35
2.7	NORMAS APLICÁVEIS AOS DISJUNTORES SF6	36

3	DESCRIÇÃO E FUNCIONAMENTO DO DISJUNTOR GL314X	39
3.1.1	Polo do disjuntor	40
3.1.2	Estrutura-suporte	41
3.1.3	Comando	41
3.1.4	Armário de sincronismo	42
3.2	DESCRIÇÃO DA CÂMARA DE RUPTURA.....	42
3.3	FUNCIONAMENTO DO POLO (PRINCÍPIO DE INTERRUPÇÃO)	43
3.3.1	Abertura	44
3.3.2	Fechamento.....	45
3.4	COMANDO DO DISJUNTOR.....	46
3.4.1	Descrição do mecanismo	47
3.4.2	Equipamento auxiliar	48
3.4.3	Princípio de funcionamento	50
3.5	SUPERVISÃO DO GÁS SF6.....	53
3.5.1	Pressão e densidade.....	54
3.5.2	Medição da pressão	54
3.5.3	Medição da densidade	56
3.5.4	Densímetro.....	56
4	IDENTIFICAÇÕES DAS PARTES DO DISJUNTOR GL314X E PRINCIPAIS ASPECTOS DE SUA INSTALAÇÃO	59
4.1	IDENTIFICAÇÃO DOS SUBCONJUNTOS DO DISJUNTOR	59
4.2	ARMAZENAGEM.....	61
4.3	INSTRUÇÕES GERAIS DE MONTAGEM	62
4.4	TORQUES DE APERTO	62
4.5	PROCEDIMENTOS GERAIS DE MONTAGEM	65
4.6	VERIFICAÇÃO DA PRESENÇA DE GÁS SF6 NOS POLOS.....	69

4.7	MONTAGEM DA ESTRUTURA-SUPORTE.....	72
4.8	IÇAMENTO E POSICIONAMENTO DO POLO	76
4.9	MONTAGEM DOS TERMINAIS COM PREPARAÇÃO DAS SUPERFÍCIES DE CONTATO	78
4.10	MONTAGEM DO COMANDO	80
4.11	PRESSÃO DE ABASTECIMENTO DE GÁS SF6 PARA USO DO MANÔMETRO	83
4.12	ABASTECIMENTO DO GÁS SF6.....	87
5	COMISSIONAMENTO E MANUTENÇÃO DOS DISJUNTORES GL314X	93
5.1	INSTRUÇÕES GERAIS DE MONTAGEM.....	93
5.2	PLANO DE MANUTENÇÃO	94
5.3	LIMITES DE DESGASTE ELÉTRICOS	98
5.4	CONTROLE DOS NÍVEIS DE ATUAÇÃO DO DENSÍMETRO DE CONTATOS	99
5.5	INTERVENÇÃO NO COMANDO	106
6	FERRAMENTAS E ACESSÓRIOS.....	111
7	AVALIAÇÃO DE FALHAS ATRAVÉS DE MEDIÇÕES DA RESISTÊNCIA DINÂMICA	115
7.1	ASPECTOS DO DIAGNÓSTICO BASEADO NA DRC	117
7.2	ANÁLISE DE FALHAS COMUNS NOS CONTATOS DE DISJUNTORES	119
8	MODELO DE ARCO ELÉTRICO PARA DISJUNTORES SF6	123
8.1	MODELO DO ARCO MELHORADO	125
8.2	METODOLOGIA PARA CÁLCULO DE PARÂMETROS.....	128
8.3	SOLUÇÃO ASSINTÓTICA.....	129
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	133

PD-06491-0511/2018

**SISTEMA DE MONITORAMENTO E
AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DA
CAPACIDADE DE INTERRUÇÃO DE
DISJUNTORES**

**Relatório da Etapa 03:
Desenvolvimento do
Monitoramento de Deterioração
dos Comandos Mecânicos**

DOCUMENTO RESTRITO

**CLAILTON LEOPOLDO DA SILVA – COPEL GeT
GERMANO LAMBERT-TORRES - INSTITUTO GNARUS**

**CURITIBA / ITAJUBÁ
2020**

INSTITUTO GNARUS

CNPJ/MF 07.863.331/0001-02

Rua Cel. Francisco Braz, 185 - Sala 302 - Centro, Itajubá - MG, 37500-052

PD-06491-0511/2018 **SISTEMA DE MONITORAMENTO E** **AValiação DA REDUÇÃO DA CAPACIDADE** **DE INTERRUÇÃO DE DISJUNTORES**

Relatório da Etapa 03: Desenvolvimento do **Monitoramento de Deterioração dos** **Comandos Mecânicos**

DOCUMENTO RESTRITO

CLAILTON LEOPOLDO DA SILVA – COPEL GeT
GERMANO LAMBERT-TORRES - INSTITUTO GNARUS

CURITIBA / ITAJUBÁ
2020

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	DESENVOLVIMENTO DA ETAPA.....	9
2.1	DESENVOLVIMENTOS POR ÁREA DE ATUAÇÃO	9
2.2	OBJETIVOS DO PROJETO.....	12
2.3	DISJUNTORES E AS TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO	13
2.4	CLASSIFICAÇÃO DAS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO	14
3	ENTENDO A EXTRAÇÃO DE INFORMAÇÕES DOS SINAIS DO QUADRO DE COMANDO VIA TÉCNICA DE FFT	17
3.1	NOTAÇÃO E FORMATO DA DFT REAL.....	17
3.1.1	Variável Independente do Domínio da Frequência.....	18
3.1.2	Funções Fundamentais da DFT	20
3.1.3	Cálculo da DFT Inversa	21
3.1.4	Cálculo da DFT Direta.....	22
3.2	PROPRIEDADES DA FFT E DA DFT	26
3.2.1	Notação Polar	26
3.2.2	Propriedades da Transformada de Fourier Discreta	28
3.3	ANÁLISE ESPECTRAL DE SINAIS	32
3.4	A FFT NO SISTEMA DE MONITORAÇÃO PROPOSTO	34
4	APRESENTAÇÃO DA METODOLOGIA DE ANÁLISE.....	37
4.1	DESENVOLVIMENTO DOS ALGORITMOS DE ANÁLISE	37
4.1.1	Avaliação de Sinais.....	37
4.1.2	Avaliação da Qualidade do Sinal.....	39
4.1.3	Avaliação da Estacionariedade do Sinal	40
4.2	PROCESSAMENTO AVANÇADO DE SINAL.....	41

4.2.1	Assinatura da Análise MCSA e de Vibrações.....	43
4.2.2	Assinatura da Análise de Rolamento	44
4.3	DIAGNÓSTICO DE FALHAS.....	45
4.3.1	Cálculo de Parâmetros Operativos.....	47
4.3.2	Estimação de Parâmetros Operativos.....	47
4.3.3	Busca e Identificação de Parâmetros de Condição	48
4.3.4	Avaliação de Severidade e Notificações.....	49
5	FALHAS DETECTÁVEIS ATRAVÉS DO MOTOR DO QUADRO DE COMANDO	51
5.1	FALHAS INTERNAS NO MOTOR.....	52
5.1.1	Assimetria no Motor	52
5.1.2	Desbalanceamento do Motor ou Variação da Velocidade do Eixo	52
5.1.3	Excentricidade do Motor.....	52
5.2	FALHAS NOS ROLAMENTOS E ENGRENAGENS	53
5.3	CONSIDERAÇÕES RELEVANTES	60
6	RESULTADOS DE TESTES NO LABORATÓRIO	63
6.1	TESTES REALIZADOS NO LABORATÓRIO DE MOTORES	63
6.2	TESTES REALIZADOS NO LABORATÓRIO DE TESTES DE DISJUNTORES.....	65

PD-06491-0511/2018

**SISTEMA DE MONITORAMENTO E
AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DA
CAPACIDADE DE INTERRUPÇÃO DE
DISJUNTORES**

**Relatório da Etapa 04: Montagem
de um Laboratório para Testes no
Sistema de Monitoramento**

DOCUMENTO RESTRITO

**CLAILTON LEOPOLDO DA SILVA – COPEL GeT
GERMANO LAMBERT-TORRES - INSTITUTO GNARUS**

**CURITIBA - ITAJUBÁ.
2020**

INSTITUTO GNARUS

CNPJ/MF 07.863.331/0001-02

Rua Cel. Francisco Braz, 185 - Sala 302 - Centro, Itajubá - MG, 37500-052

PD-06491-0511/2018

SISTEMA DE MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DA CAPACIDADE DE INTERRUPÇÃO DE DISJUNTORES

Relatório da Etapa 04: Montagem de um Laboratório para Testes no Sistema de Monitoramento

DOCUMENTO RESTRITO

CLAILTON LEOPOLDO DA SILVA – COPEL GeT
GERMANO LAMBERT-TORRES - INSTITUTO GNARUS

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	7
2	DESENVOLVIMENTO DA ETAPA.....	9
2.1	DESENVOLVIMENTOS POR ÁREA DE ATUAÇÃO	9
2.2	OBJETIVOS DO PROJETO.....	12
3	PRINCIPAIS COMPONENTES DO LABORATÓRIO DE TESTES EM DISJUNTORES.....	13
3.1	O DISJUNTOR GL312 E SEUS ASPECTOS DE SEGURANÇA.....	13
3.1.1	Segurança na Operação do Disjuntor	13
3.1.2	Características do Gás do SF ₆	14
3.1.3	Segurança no Manuseio de SF ₆	14
3.2	O SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS	16
3.3	A UNIDADE PRINCIPAL DE PROCESSAMENTO DO CONHECIMENTO	17
4	MONTAGEM DO LABORATÓRIO DE TESTES EM DISJUNTORES.....	19
4.1	CHEGADA E DESEMBARQUE DO DISJUNTOR NO INSTITUTO GNARUS.....	19
4.1.1	Transporte e manuseio.....	22
4.1.2	Armazenagem.....	23
4.2	PARTES CONSTRUTIVAS DO DISJUNTOR GL312	23
4.3	PREPARAÇÃO PARA A INSTALAÇÃO	24
4.4	MONTAGEM DA ESTRUTURA DE BASE.....	25
4.4.1	Coluna do polo	26
4.4.2	Instalação Prévia dos Suportes	27
4.4.3	Instalação da Estrutura de Base	29
4.4.4	Instalação dos Suportes do Mecanismo	31
4.4.5	Montagem do Mecanismo de Operação	33
4.4.6	Instalação das Colunas dos Polos	36

4.4.7 Alinhamento e Conexão das Colunas dos Polos	39
4.4.8 Alinhamento e Conexão da Coluna do Polo B.....	41
4.4.9 Montagem dos Terminais de Alta Tensão	47
4.4.10 Conexão dos Cabos	48
4.4.11 Aterramento do Disjuntor	49
4.4.12 Apresentação Final do Laboratório de Testes de Disjuntores	50
5 ANÁLISE DA ASSINATURA ELÉTRICA	53
5.1 ANÁLISE DA ASSINATURA DE CORRENTE DO MOTOR (MCSA).....	53
5.1.1 Caracterização da Técnica de MCSA	55
5.1.2 Fundamentação Teórica da Principal Ferramenta	56
5.2 PADRÕES DE FALHAS	59
5.2.1 Padrões de Falhas no Motor	60
5.2.2 Padrões de Falhas de Transmissão	69
5.2.3 Padrões de Falhas no Acionamento do Disjuntor	71

PD-06491-0511/2018

**SISTEMA DE MONITORAMENTO E
AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DA
CAPACIDADE DE INTERRUPÇÃO DE
DISJUNTORES**

Solicitações de Ajuste

Ano 1

DOCUMENTO RESTRITO

**CLAILTON LEOPOLDO DA SILVA – COPEL GeT
GERMANO LAMBERT-TORRES - INSTITUTO GNARUS**

**CURITIBA – ITAJUBÁ
2020**

PD-06491-0511/2018

**SISTEMA DE MONITORAMENTO E
AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DA
CAPACIDADE DE INTERRUPÇÃO DE
DISJUNTORES**

Processos de Compra

Ano 1

DOCUMENTO RESTRITO

**CLAILTON LEOPOLDO DA SILVA – COPEL GeT
GERMANO LAMBERT-TORRES - INSTITUTO GNARUS**

**CURITIBA – ITAJUBÁ
2020**