



Universidade Federal de Uberlândia

Faculdade de Engenharia Elétrica

**CÉLIO GUISSONI JÚNIOR**

**PROTEÇÃO DE UMA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA UTILIZANDO  
RELÉS DE SOBRECORRENTE.**

Uberlândia

2018

**CÉLIO GUISSONI JÚNIOR**

**PROTEÇÃO DE UMA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA UTILIZANDO  
RELÉS DE SOBRECORRENTE**

Trabalho apresentado como requisito parcial de avaliação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia.

Orientador: José Wilson Resende.

---

Assinatura do Orientador

Uberlândia

2018

Dedico este trabalho aos meus pais,  
pelo estímulo, carinho e compreensão.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor José Wilson Resende pelo incentivo, motivação e orientação deste trabalho.

Ao Professor Kleiber David Rodrigues pela disponibilidade para participar da banca examinadora deste trabalho.

Ao Professor Adélio José de Moraes pela disponibilidade para participar da banca examinadora deste trabalho.

À minha família, em especialmente ao meu irmão Helton Ricardo Guissoni pelo apoio, bem como a oportunidade a mim concedida de me dedicar com exclusividade aos estudos.

Aos meus colegas de estudos, Luís Fernando Rodrigues e Maurício Daniel Dotalli pelo companheirismo e apoio.

Aos meus amigos Fausto Miguel Luz Netto, William Sant'Ana, João Paulo Pimentel Machado, Vinícius Ricardo Silveira Bastos pela amizade e pelos momentos comigo vividos.

A meus amigos e antigos companheiros de trabalho, Müller Caffaro Gonçalves, Geovany Baima Rêgo, Gleisson Leandro Pacheco, Daniel Santos Arruda, Híkaro Batista Moura, Alisson Fernandes e todos aqueles que de certa forma contribuíram e me incentivaram para a conclusão desta graduação.

E principalmente a Deus, por todas as oportunidades a mim concedidas.

## **RESUMO**

Este trabalho tem por objetivo apresentar o desenvolvimento de um projeto de proteção contra curtos de um sistema elétrico de uma indústria siderúrgica. Tendo como base Filosofia de Proteção de Sistemas Elétricos, sempre se buscará trazer rapidez, sensibilidade, seletividade e confiabilidade para a proteção de tal sistema. Para isto, usar-se-á relés digitais com funções de sobrecorrente: temporizado (51), Instantâneo (50), temporizado de neutro (51N), instantâneo de neutro 50N.

## **ABSTRACT**

The goal of this work is to present the development of short-circuit electric protection project of steel industry. Based on Electrical Systems Protection philosophy, speed, sensitivity, selectivity and reliability will always be sought for the protection of such a system. For this, it will use digital relays with these overcurrent functions: Temporized (51), instantaneous (50), Temporized of neutral (51N) and Instantaneous of neutral (50N).

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Diagrama inserido no software PSP.....                         | 16 |
| Figura 2 - Contribuições das correntes para dimensionamento dos TC's..... | 26 |
| Figura 3 - Classe de exatidão de acordo com a norma ANSI. ....            | 29 |
| Figura 4 - Exemplo de boa coordenação.....                                | 34 |
| Figura 5 - Curva normalmente inversa.....                                 | 36 |
| Figura 6 - Curva muito inversa.....                                       | 37 |
| Figura 7 - Curva extremamente inversa.....                                | 37 |
| Figura 8 - Curva de tempo longo .....                                     | 38 |
| Figura 9 - Diagrama unifilar simplificado do ramal 1.....                 | 41 |
| Figura 10 - Parametrização da função 51 do relé R3.5. ....                | 42 |
| Figura 11 - Parametrização da função 50 do relé R3.5. ....                | 43 |
| Figura 12 - Relé R3.5 no software plotcoord. ....                         | 44 |
| Figura 13 - Escolha da curva do relé R1.2.....                            | 45 |
| Figura 14 - Coordenação relés R3.5 e R1.2. ....                           | 47 |
| Figura 15 - Coordenação relés R3.5, R1.2, R1.1.....                       | 49 |
| Figura 16 - Coordenograma relés de fase R3.5; R1.2; R1.1; R1;.....        | 51 |
| Figura 17 - Coordenograma relés de neutro R3.5; R1.2; R1.1; R1.....       | 57 |
| Figura 18 - Coordenograma relés de fase R3.1; R1.2; R1.1; R1.....         | 59 |
| Figura 19 - Coordenograma relé de neutro R3.1. ....                       | 61 |

|                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 20 - Coordenograma relé R3.2; R1.2; R1.1; R1.....            | 63  |
| Figura 21 - Coordenograma relé de neutro R3.2; R1.2; R1.1; R1. .... | 65  |
| Figura 22 - Coordenograma relé R3.3; R1.2; R1.1; R1.....            | 67  |
| Figura 23 - Coordenograma relé de neutro R3.3; R1.2; R1.1; R1. .... | 69  |
| Figura 24 - Coordenograma relé R3.4; R1.2; R1.1; R1.....            | 71  |
| Figura 25 - Coordenograma relé de neutro R3.4; R1.2; R1.1; R1. .... | 73  |
| Figura 26 - Diagrama unifilar simplificado ramal dois. ....         | 75  |
| Figura 27 - Coordenograma relés R4.5; R3.0; R2.8; R2.4; R2. ....    | 81  |
| Figura 28 - Coordenograma relés R4.6; R3.0; R2.8; R2.4; R2. ....    | 83  |
| Figura 29 - Coordenograma relés R4.7; R3.0; R2.8; R2.4; R2. ....    | 84  |
| Figura 31 - Diagrama unifilar simplificado caso R4.4.....           | 86  |
| Figura 32 - Coordenograma relés R4.4; R2.9; R2.7; R2.3; R2. ....    | 90  |
| Figura 33 - Coordenograma relés R4.1; R2.9; R2.7; R2.3; R2. ....    | 92  |
| Figura 34 - Coordenograma relés R4.2; R2.9; R2.7; R2.3; R2. ....    | 94  |
| Figura 35 - Coordenograma relés R4.3; R2.9; R2.7; R2.3; R2. ....    | 95  |
| Figura 36 - Diagrama unifilar simplificado caso R2.5.....           | 96  |
| Figura 37 - Coordenograma relé R2.5; R2.1; R2. ....                 | 100 |
| Figura 38 - Coordenograma relés de neutro R2.5; R2.1; R2. ....      | 103 |
| Figura 39 - Diagrama unifilar simplificado caso R2.6; R2.2; R2..... | 104 |
| Figura 40 - Coordenograma relés de fase R2.6; R2.2; R2.....         | 105 |

|                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 41 - Coordenograma relés de neutro R2.6; R2.2; R2. ....   | 107 |
| Figura 42 - Diagrama unifilar simplificado relés de neutro. .... | 108 |
| Figura 43 - Coordenograma dos relés de neutro R2.3; R2. ....     | 110 |
| Figura 44 - Coordenograma relés de neutro R2.4; R2. ....         | 111 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Identificação adotada para os ramais do sistema.....               | 17 |
| Tabela 2 - Mudanças de base nos transformadores.....                          | 20 |
| Tabela 3 - Valores de curto-circuito pontuais.....                            | 22 |
| Tabela 4 - Correntes nominais e de curto impostas aos TC's.....               | 24 |
| Tabela 5 - Definições das RTC's da planta.....                                | 28 |
| Tabela 6 - Classe de exatidão dos TC's. ....                                  | 31 |
| Tabela 7 - Tabela ANSI dos transformadores.....                               | 32 |
| Tabela 8 - Corrente de magnetização dos transformadores.....                  | 33 |
| Tabela 9 - Curvas padronizadas conforme a norma IEC 60255-3.....              | 35 |
| Tabela 10 -Dados de parametrização relés R3.5; R1.2; R1.1; R1.....            | 52 |
| Tabela 11 - Dados de parametrização relés de neutro R3.5; R1.2; R1.1; R1..... | 58 |
| Tabela 12 – Dados de parametrização relé de fase R3.1.....                    | 59 |
| Tabela 13 – Dados de parametrização relé de neutro R3.1. ....                 | 61 |
| Tabela 14 – Dados de parametrização do relé R3.2.....                         | 63 |
| Tabela 15 – Dados de parametrização relé de neutro R3.2. ....                 | 65 |
| Tabela 16 – Dados de parametrização relé de fase R3.3.....                    | 67 |
| Tabela 17 – Dados de parametrização relé de neutro R3.3. ....                 | 69 |
| Tabela 18 – Dados de parametrização relé de fase R3.4.....                    | 71 |
| Tabela 19 – Dados de parametrização relé de neutro R3.4. ....                 | 73 |

|                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 20 – Dados de parametrização relés R4.5; R3.0; R2.8; R2.4; R2..... | 81  |
| Tabela 21 – Dados de parametrização relé R4.6. ....                       | 83  |
| Tabela 22 - Dados de parametrização relé R4.7. ....                       | 85  |
| Tabela 23 – Dados de parametrização relés R4.4; R2.9; R2.7; R2.3 .....    | 90  |
| Tabela 24 – Dados de parametrização relés R4.1; R2.9; R2.7; R2.3 .....    | 92  |
| Tabela 25 – Dados de parametrização relés R4.2; R2.9; R2.7; R2.3; R2..... | 94  |
| Tabela 26 – Dados de parametrização relés R4.3.....                       | 96  |
| Tabela 27 – Dados de parametrização relés R2.5; R2.1 .....                | 100 |
| Tabela 28 – Dados de parametrização relés de neutro R2.5; R2.1; R2.....   | 103 |
| Tabela 29 – Dados de parametrização relés R2.6; R2.2; R2.....             | 106 |
| Tabela 30 - Dados de parametrização dos relés de neutro R2.6; R2.2; R2..  | 107 |
| Tabela 31 - Dados de parametrização relés de neutro R2.3; R2.....         | 110 |
| Tabela 32 - Dados de parametrização relés de neutro R2.4; R2.....         | 112 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

UFU – Universidade Federal de Uberlândia

ABNT – Agência Brasileira de Normas Técnicas

AT – Alta Tensão.

MT – Média Tensão

BT – Baixa Tensão

RTC – Relação de Transformação de Corrente

TC – Transformador de Corrente

FS – Fator de Sobrecorrente

IEC – International Electrotechnical Commission

ANSI – American National Standards Institute

## SUMÁRIO

|                                                                                                   |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                                                         | <b>15</b> |
| <b>2 CARACTERÍSTICA DO SISTEMA .....</b>                                                          | <b>16</b> |
| <b>2.1 SIMULAÇÃO DAS CORRENTES DE CURTO .....</b>                                                 | <b>18</b> |
| <b>3 MUDANÇAS DE BASE PARA OBTENÇÃO DAS IMPEDÂNCIAS.....</b>                                      | <b>19</b> |
| <b>3.1 CÁLCULO DE CURTO CIRCUITO NOS PONTOS DE INTERESSE.....</b>                                 | <b>21</b> |
| <b>4 ESPECIFICAÇÃO DOS TRANSFORMADORES DE CORRENTE (TC'S).....</b>                                | <b>23</b> |
| <b>4.1 DEFINIÇÕES DAS RELAÇÕES DE TRANSFORMAÇÃO DOS TC'S. ....</b>                                | <b>23</b> |
| <b>4.2 DEFINIÇÕES DAS CLASSES DE EXATIDÃO DOS TRANSFORMADORES DE CORRENTE. ....</b>               | <b>29</b> |
| <b>5.0 LIMITES TÉRMICOS E CARACTERÍSTICAS DE ENERGIZAÇÃO DE TRANSFORMADORES. ....</b>             | <b>32</b> |
| <b>5.1 ENERGIZAÇÃO DE TRANSFORMADORES. ....</b>                                                   | <b>32</b> |
| <b>6.0 CONSIDERAÇÕES E ASPECTOS TEÓRICOS A RESPEITO DE AJUSTE E COORDENAÇÃO DA PROTEÇÃO. ....</b> | <b>33</b> |
| <b>6.1 CURVAS CARACTERÍSTICAS DOS RELÉS DE SOBRECORRENTE.....</b>                                 | <b>35</b> |
| <b>6.2 CONSIDERAÇÕES ACERCA DOS AJUSTES DOS RELÉS COM FOCO NA FUNÇÃO SOBRECORRENTE. ....</b>      | <b>38</b> |
| <b>7 AJUSTES E COORDENAÇÃO DO RAMAL 1. ....</b>                                                   | <b>40</b> |
| <b>7.1 – CASO RELÉS DE FASE R3.5; R1.2; R1.1; R1.....</b>                                         | <b>40</b> |
| <b>7.1.1 - CASO RELÉS DE NEUTRO R3.5; R1.2; R1.1; R1.....</b>                                     | <b>52</b> |
| <b>7.2 - CASO RELÉS DE FASE R3.1; R1.2; R1.1; R1.....</b>                                         | <b>58</b> |
| <b>7.2.1 - CASO RELÉS DE NEUTRO R3.1; R1.2; R1.1; R1.....</b>                                     | <b>59</b> |
| <b>7.3 – CASO RELÉS DE FASE R3.2; R1.2; R1.1; R1.....</b>                                         | <b>61</b> |
| <b>7.3.1 – CASO RELÉS DE NEUTRO R3.2; R1.2; R1.1; R1. ....</b>                                    | <b>63</b> |
| <b>7.4 – CASO RELÉS DE FASE R3.3; R1.2; R1.1; R1.....</b>                                         | <b>65</b> |
| <b>7.4.1 - CASO RELÉS DE NEUTRO R3.3; R1.2; R1.1; R1.....</b>                                     | <b>67</b> |
| <b>7.5 – CASO RELÉS DE FASE R3.4; R1.2; R1.1; R1.....</b>                                         | <b>69</b> |
| <b>7.5.1 – CASO RELÉS DE NEUTRO R3.4; R1.2; R1.1; R1. ....</b>                                    | <b>71</b> |
| <b>8.0 AJUSTES E COORDENAÇÃO DO RAMAL 2.....</b>                                                  | <b>74</b> |
| <b>8.1 – CASO RELÉS DE FASE R4.5; R3.0; R2.8; R2.4; R2. ....</b>                                  | <b>76</b> |
| <b>8.2 – CASO RELÉS DE FASE R4.6; R3.0; R2.8; R2.4; R2. ....</b>                                  | <b>82</b> |
| <b>8.3 – CASO RELÉS DE FASE R4.7; R3.0; R2.8; R2.4; R2. ....</b>                                  | <b>83</b> |

|                                                                  |            |
|------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>8.4 - CASO RELÉS DE FASE R4.4; R2.9; R2.7; R2.3; R2. ....</b> | <b>86</b>  |
| <b>8.5 – CASO RELÉS DE FASE R4.1; R2.9; R2.7; R2.3; R2. ....</b> | <b>91</b>  |
| <b>8.6 – CASO RELÉS DE FASE R4.2; R2.9; R2.7; R2.3; R2. ....</b> | <b>93</b>  |
| <b>8.7 – CASO RELÉS DE FASE R4.3; R2.9; R2.7; R2.3; R2. ....</b> | <b>94</b>  |
| <b>8.8 – CASO RELÉS DE FASE R2.5; R2.1; R2. ....</b>             | <b>96</b>  |
| <b>8.8.1 – CASO RELÉS DE NEUTRO R2.5; R2.1; R2.....</b>          | <b>101</b> |
| <b>8.9 – CASO RELÉS DE FASE R2.6; R2.2; R2. ....</b>             | <b>104</b> |
| <b>8.9.1 – CASO RELÉS DE NEUTRO R2.6; R2.2; R2.....</b>          | <b>106</b> |
| <b>8.10 – CASO RELÉS DE NEUTRO R2.3/R2.4; R2.....</b>            | <b>108</b> |
| <b>8.10.1 - CASO RELÉS DE NEUTRO R2.3; R2. ....</b>              | <b>109</b> |
| <b>8.10.2 – CASO RELÉS DE NEUTRO R2.4; R2. ....</b>              | <b>111</b> |
| <b>9 – CONCLUSÕES. ....</b>                                      | <b>113</b> |
| <b>10 REFERÊNCIAS.....</b>                                       | <b>114</b> |
| <b>ANEXO I – DIAGRAMA UNIFILAR DA PLANTA INDUSTRIAL. ....</b>    | <b>115</b> |

# 1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é importante para o desenvolvimento de qualquer país. Desta forma seu consumo está relacionado com o crescimento econômico, é perceptível que a qualidade exigida dos produtos e serviços dos consumidores é crescente. Com o consumidor de energia elétrica, isso não é diferente, seja ele industrial residencial ou comercial, requisitos estes que são regulamentados pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica).

Com isso em mente a necessidade de se atender as unidades consumidoras com eficiência, confiabilidade e outros fatores que implicam na qualidade de energia elétrica, surgiram várias maneiras de melhorar o sistema elétrico, sendo que uma delas está relacionada a controlar e minimizar os efeitos e danos causados por faltas quaisquer que venham a ocorrer em um sistema. No que se refere a estas falhas, pode estar se referindo a falhas ocorridas em um grande sistema, como por exemplo, no SIN (Sistema Interligado Nacional) ou em um sistema menor, como por exemplo, o sistema elétrico de uma indústria.

A partir dessa necessidade de se controlar e minimizar os efeitos causados pelas faltas nos mais diversos sistemas elétricos surge o conceito de proteção, onde para realizar tal função utilizam-se relés de proteção.

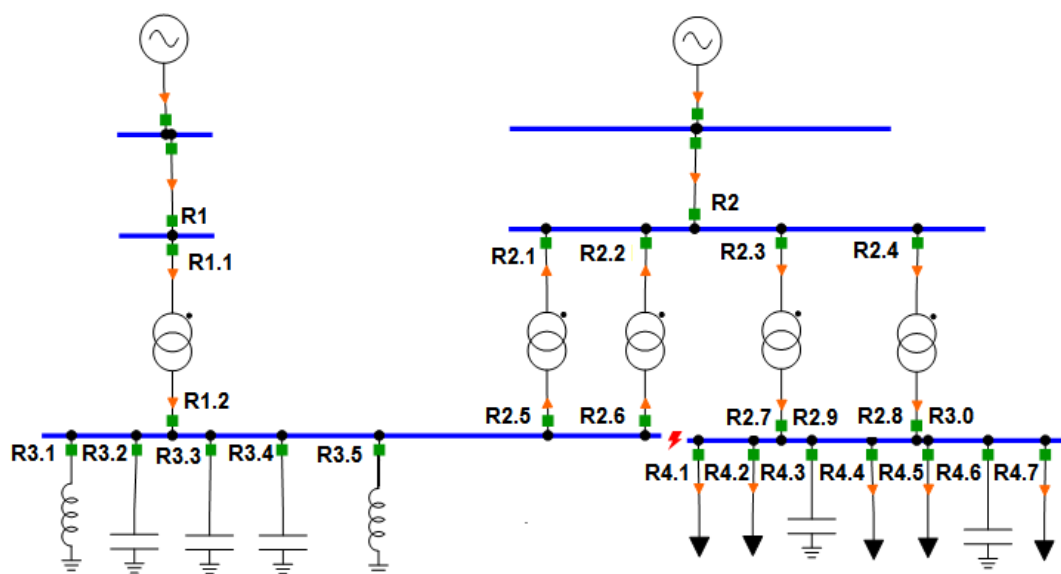
As falhas e defeitos podem trazer ao sistema elétrico uma série de más consequências implicando, portanto na melhor forma de eliminá-las de maneira mais rápida possível de modo que seu impacto seja o menor possível. De acordo com as necessidades acima supracitadas, a proteção tem como objetivo proteger o sistema elétrico e seus equipamentos com confiabilidade, seletividade, coordenação, sensibilidade. Por esses motivos supracitados, este trabalho objetiva aplicar os conhecimentos de Análise e Proteção de Sistemas Elétricos, através da elaboração de um projeto de proteção contra curtos de um sistema elétrico industrial. Desta forma, ajusta-se os parâmetros dos relés de sobrecorrente de tal forma que garanta uma proteção coordenada do sistema.

## 2 CARACTERÍSTICA DO SISTEMA

O sistema a ser trabalhado é referente a uma indústria siderúrgica que se dedica à fabricação de tratamento de aço e mineração. A concessionária local alimenta esta indústria com dois alimentadores de 138kV em nível de curto-circuito de 200 e 300MVA respectivamente. Uma das entradas da planta é constituída por um transformador, o qual rebaixa para um nível de tensão de 33kV em um barramento singelo. A jusante deste há várias subestações unitárias que direcionam o fluxo de energia aos seus vários processos tais como, forno elétrico, reatores e filtros harmônicos. Outra entrada é constituída por quatro grandes transformadores em paralelo, sendo que dois destes são responsáveis por abaixar a tensão ao nível de 33kV no mesmo barramento acima supracitado. Os outros dois são responsáveis por rebaixar ao nível de tensão de 6,3kV em um barramento singelo, alimentando outras cargas.

A partir das informações citadas acima, a planta industrial foi subdividida em ramais e subestações, os quais se encontram na tabela 1. Para encontrar as correntes de curto-circuito em vários pontos do sistema foi utilizado o software PSP (Plataforma de sistemas de potência-UFU), que viabilizou de grande forma este trabalho e o diagrama unifilar pode ser visualizado na figura 1.

Figura 1 - Diagrama inserido no software PSP.



A figura 1 tem como finalidade mostrar a planta no software para obtenção das correntes de curto. Os relés estão destacados em suas respectivas localizações.

Tabela 1 - Identificação adotada para os ramais do sistema.

| Ramal | Equivalente no sistema                          |
|-------|-------------------------------------------------|
| 1     | Subestação 1 - Alimentação 1 da concessionária. |
|       | Subestação 1- Transformador - T30.              |
| 2     | Subestação 1 - Alimentação 2 da concessionária. |
|       | Subestação 1 - Transformador T2-A.              |
|       | Subestação 1- Transformador T2-B.               |
|       | Subestação 1 - Transformador T1-A.              |
|       | Subestação 1- Transformador T1-B.               |
| 3     | Subestação 2- Reator de 35MVar.                 |
|       | Subestação -2 - Filtro 3ºHarmônico.             |
|       | Subestação -2 Filtro 2ºHarmônico.               |
|       | Subestação 2 Filtro 5ºHarmonico.                |
|       | Subestação 2- Aciária II - Forno Elétrico.      |
| 4     | Subestação 3 - Laminação A1.                    |
|       | Subestação 4 - Laminação Reserva.               |
|       | Subestação 5- Laminação A2.                     |
|       | Subestação 6 - VIII Aciária.                    |
|       | Subestação 7 - Utilidades.                      |
|       | Subestação 8- Filtro 5ºHarmonico.               |
|       | Subestação 8- Filtro 7ºHarmonico.               |

A tabela 1 consiste em mostrar e identificar as divisões internas dos ramais e subestações.

## **2.1 SIMULAÇÃO DAS CORRENTES DE CURTO**

Na finalidade de se fazer um projeto de proteção a um sistema elétrico, é necessário frisar que os todos os equipamentos estejam protegidos sob o ponto de vista de faltas danosas de corrente de curto-circuito. Portanto, para que se tenha precisão nesse projeto de proteção, é necessário o cálculo das correntes de curto nos mais variados pontos desta instalação, pois desta forma poder-se-á ajustar os relés de proteção, bem como os seus respectivos TC's.

A partir da premissa acima, nota-se que é de fundamental importância ter conhecimento dos equipamentos existentes no sistema a ser protegidos e, além disso, as condições nominais de operação destes equipamentos. Uma observação importante a ser descrita neste trabalho: o único gerador de corrente de curto é a concessionária, pois parte-se do pressuposto que os motores estejam equipados com inversores de frequência e, portanto, não irão contribuir com as correntes de curto.

Antes de inserir o sistema no software é necessário realizar a mudança de bases e, ainda, encontrar a reatância equivalente da concessionária nas entradas da instalação, como é realizada na seção 3.

### 3 MUDANÇAS DE BASE PARA OBTENÇÃO DAS IMPEDÂNCIAS.

Conforme a explicação da seção anterior, a planta é alimentada em dois circuitos sendo uma subestação por circuito, em transformadores com tensão de chegada em 138kV, sendo que o nível de curto-circuito das subestações são respectivamente 200MVA e 300MVA . Para este projeto adotaremos como base:

$$M_b = 100\text{MVA e } V_b = 138\text{kV} / 33\text{kV} / 6,3\text{kV}$$

Portanto, a base do sistema em alta tensão será:

$$Z_{base} = \left( \frac{V_b^2}{M_b} \right) \quad (3.1.0)$$

$$Z_{base} = \frac{138\text{kV}^2}{100\text{M}} = 190,44\Omega$$

As reatâncias dos respectivos sistemas serão calculadas da seguinte forma:

$$Z_{\text{Alimentador-1}} = \left( \frac{138\text{kV}^2}{200\text{M}} \right) = 95,22\Omega$$

$$Z_{\text{Alimentador-1}} (\text{pu}) = \left( \frac{95,22\Omega}{190,44\Omega} \right) = 0,5\text{pu}$$

$$Z_{\text{Alimentador-2}} = \left( \frac{138\text{kV}^2}{300\text{M}} \right) = 63,48\Omega$$

$$Z_{\text{Alimentador-2}} (\text{pu}) = \left( \frac{63,48\Omega}{190,44\Omega} \right) = 0,33\text{pu}$$

Tendo os valores das reatâncias dos valores da entrada do acoplamento comum, faz-se necessário agora a conversão de bases das reatâncias dos transfor-

madores presentes na planta. Para essa conversão utiliza-se o mesmo processo anterior com a seguinte expressão:

$$X_n = X_a \left( \frac{V_{ant}}{V_{novo}} \right)^2 \times \left( \frac{M_{novo}}{M_{ant}} \right) \quad 3.1.1$$

Onde:

$X_n$ : Impedância a ser encontrada do novo sistema;

$X_a$ : Impedância do sistema “antigo”;

$V_{ant}$ : Tensão do sistema “antigo”;

$V_{novo}$ : Tensão do sistema “novo”;

$M_{novo}$ : Potência do sistema “novo”;

$M_{ant}$ : Potência do sistema “antigo”;

A partir da figura 1 é notável que os níveis de tensões dos transformadores estejam compatíveis com os níveis de tensões adotados como base. Portanto, são levadas em conta apenas as potências dos transformadores em questão e para tais conversões segue-se conforme a tabela 2.

Tabela 2 - Mudanças de base nos transformadores.

| <b>Transformador</b> | <b><math>X_a</math>[pu]</b> | <b><math>M_a</math>[MVA]</b> | <b><math>X_n</math>[pu]</b> | <b><math>S_n</math>[MVA]</b> |
|----------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| T30                  | 0,05                        | 55                           | 0,09                        | 100                          |
| T2 - A               | 0,05                        | 25                           | 0,2                         | 100                          |
| T2 - B               | 0,05                        | 25                           | 0,2                         | 100                          |
| T1- A                | 0,05                        | 20                           | 0,25                        | 100                          |
| T1- B                | 0,05                        | 20                           | 0,25                        | 100                          |

A partir dos valores de reatâncias já convertidas para a nova base, é possível realizar os cálculos de curto-circuito nos mais variados pontos da instalação e os resultados serão mostrados na próxima subseção.

### **3.1 CÁLCULO DE CURTO CIRCUITO NOS PONTOS DE INTERESSE**

Os pontos de interesse são os pontos onde estão alocados os transformadores de corrente (TC's) e relés. De posse dos valores do curto-circuito trifásico que pode ser visualizado na tabela 3, é possível o dimensionamento dos transformadores de corrente, o que acontecerá na seção 4.

Tabela 3 - Valores de curto-circuito pontuais.

|   |       |       |
|---|-------|-------|
| 1 | TC1   | 836   |
|   | TC1.1 |       |
|   | TC1.2 | 4007  |
| 2 | TC2   | 1395  |
|   | TC2.1 | 1700  |
|   | TC2.2 | 1700  |
|   | TC2.3 | 1880  |
|   | TC2.4 | 1880  |
|   | TC2.5 | 4900  |
|   | TC2.6 |       |
|   | TC2.7 | 12695 |
|   | TC2.8 |       |
|   | TC2.9 |       |
|   | TC3.0 |       |
| 3 | TC3.1 | 6939  |
|   | TC3.2 |       |
|   | TC3.3 |       |
|   | TC3.4 |       |
|   | TC3.5 |       |
| 4 | TC4.1 | 25450 |
|   | TC4.2 |       |
|   | TC4.3 |       |
|   | TC4.4 |       |
|   | TC4.5 |       |
|   | TC4.6 |       |
|   | TC4.7 |       |

## **4 Especificação dos transformadores de corrente (TC's)**

Os transformadores de corrente têm como finalidade reproduzir no seu secundário, uma amostra de corrente que circula em seu enrolamento primário. Esta corrente tem proporções definidas e conhecidas, sem alterar sua posição vetorial.

Para fazer essa medição de corrente, o TC é conectado em série com a linha que se deseja medir, de modo que a corrente do circuito principal percorra seus enrolamentos. As bobinas dos relés devem ser conectadas em série com o secundário, de maneira a serem igualmente percorridas pela corrente transformada.

Em termos de especificação dos TC's, é necessário definir a relação de transformação de corrente, também chamada de RTC e também sua classe de exatidão.

### **4.1 Definições das relações de transformação dos TC's.**

Para definir a relação de transformação dos TC's de forma adequada são levados em consideração dois requisitos:

**Corrente nominal:** A corrente não deve ultrapassar a capacidade de condução de corrente do TC.

**Corrente de curto-circuito máxima:** Dada uma corrente de curto-circuito máxima, a corrente secundária no TC não deve exceder a suportabilidade dos relés. Partindo de recomendações dadas em normas se tem que a corrente de curto-circuito máxima deve ser menor que 20 vezes a corrente primária nominal do TC.

Será utilizada para determinação das RTC's a norma internacional ANSI, onde para a corrente nominal secundária 5A, se tem as correntes nominais primárias de 10A, 15A, 25A, 40A, 50A, 75A, 100A, 150A, 200A, 300A, 400A, 600A, 800A, 1200A, 3000A, 4000A, 6000A, 8000A.

Na tabela 4, são apresentadas as correntes nominais e as correntes de curto para todos os TC's que serão dimensionados neste projeto.

Tabela 4 - Correntes nominais e de curto impostas aos TC's

| Identificação do TC | Corrente Nominal (A) | Corrente de Curto (A) |
|---------------------|----------------------|-----------------------|
| TC1                 | 230                  | 836                   |
| TC1.1               | 230                  |                       |
| TC1.2               | 962,25               | 4007                  |
| TC2                 | 376,25               | 1395                  |
| TC2.1               | 104,59               | 1700                  |
| TC2.2               | 104,59               | 1700                  |
| TC2.3               | 83,67                | 1880                  |
| TC2.4               | 8,67                 | 1880                  |
| TC2.5               | 437,38               | 4900                  |
| TC2.6               | 437,38               |                       |
| TC2.7               | 1832,85              | 12695                 |
| TC2.8               | 1832,85              |                       |
| TC2.9               | 1832,85              |                       |
| TC3.0               | 1832,85              |                       |
| TC3.1               | 612,34               | 6939                  |
| TC3.2               | 183,7                |                       |
| TC3.3               | 258,93               |                       |
| TC3.4               | 267,68               |                       |
| TC3.5               | 840                  |                       |
| TC4.1               | 814,42               | 25450                 |
| TC4.2               | 728,62               |                       |
| TC4.3               | 293,25               |                       |
| TC4.4               | 1018,52              |                       |
| TC4.5               | 1018,52              |                       |
| TC4.6               | 293,25               |                       |
| TC4.7               | 1018,52              |                       |

A partir da tabela 4, é possível determinar através dos critérios apresentados anteriormente, a RTC recomendada para seu determinado TC. A título de exemplificação, o TC1 onde  $I_n=230A$  e a corrente de curto-circuito é 836A. Logo, pelo primeiro critério para determinação da RTC seria 300/5 e para o segundo critério tem-se:

$$RTC \geq \frac{I_{cc_{max}}}{20} \quad (4.1)$$

Onde, pela norma ANSI o FS (Fator de sobrecorrente) é igual a 20. Daí, tem-se:

$$RTC \geq \frac{836}{20} = 41,8A$$

Nota-se que pelo critério de curto-circuito, o mínimo exigido para a RTC seria 50/5, porém não atenderia o critério da corrente nominal. Logo, a RTC escolhida para o TC1 é definida pelo primeiro critério em 300/5 Ampère.

Para mais uma demonstração de especificação de RTC, toma-se como exemplo da MT, o TC4.1 Sabe-se que a  $I_n = 815A$  e  $I_{cc} = 25450A$ . Pelo critério de corrente nominal, a RTC indicada nesse caso é 800/5A. Por outro lado, pelo critério da corrente de curto-circuito tem-se:

$$RTC \geq \frac{25450}{20} \geq 1272,5A$$

Pelo primeiro critério a RTC recomendada 1200/5 e não atenderia o segundo critério. Logo, a RTC recomendada é de 3000/5A.



- 1) Curto-Circuito no ponto A - Neste caso, a corrente que passará pelo TC será a corrente advinda do transformador T-30 equivale a 2932ampères.
- 2) Curto-Circuito no ponto B – Neste caso, devido à localidade do curto-circuito ser próximo ao transformador a corrente que passará pelo TC é provinda do paralelismo dos transformadores T2-A e T2-B, equivalente a 4007ampères.

Portanto, para o correto dimensionamento do transformador de corrente do relé R1.2 a corrente de curto da situação 2 deve ser considerada. Na tabela 5 são mostrados as RTC's de seus respectivos TC's e qual critério determinante para escolha.

Tabela 5 - Definições das RTC's da planta

| Identificação do TC | In (A)  | Icc (A) | Critério          | RTC    |
|---------------------|---------|---------|-------------------|--------|
| TC1                 | 230     | 836     | Corrente nominal  | 300/5  |
| TC1.1               | 230     | 836     | Corrente nominal  | 600/5  |
| TC1.2               | 962,25  | 4007    | Corrente nominal  | 3000/5 |
| TC2                 | 376,52  | 1395    | Corrente nominal  | 400/5  |
| TC2.1               | 104,59  | 1700    | Corrente nominal  | 150/5  |
| TC2.2               | 104,59  | 1700    | Corrente nominal  | 150/5  |
| TC2.3               | 83,67   | 1880    | Corrente nominal  | 200/5  |
| TC2.4               | 83,67   | 1880    | Corrente nominal  | 200/5  |
| TC2.5               | 437,38  | 4900    | Corrente nominal  | 800/5  |
| TC2.6               | 437,38  | 4900    | Corrente nominal  | 800/5  |
| TC2.7               | 1832,85 | 12695   | Corrente nominal  | 3000/5 |
| TC2.8               | 1832,85 | 12695   | Corrente nominal  | 3000/5 |
| TC2.9               | 1832,85 | 12695   | Corrente nominal  | 3000/5 |
| TC3.0               | 1832,85 | 12695   | Corrente nominal  | 3000/5 |
| TC3.1               | 612,34  | 6939    | Corrente nominal  | 800/5  |
| TC3.2               | 183,7   | 6939    | Corrente de curto | 400/5  |
| TC3.3               | 258,93  | 6939    | Corrente de curto | 400/5  |
| TC3.4               | 267,68  | 6939    | Corrente de curto | 400/5  |
| TC3.5               | 840     | 6939    | Corrente nominal  | 1200/5 |
| TC4.1               | 814,42  | 25450   | Corrente de curto | 3000/5 |
| TC4.2               | 728,62  | 25450   | Corrente de curto | 3000/5 |
| TC4.3               | 293,25  | 25450   | Corrente de curto | 3000/5 |
| TC4.4               | 1018,52 | 25450   | Corrente de curto | 3000/5 |
| TC4.5               | 1018,52 | 25450   | Corrente de curto | 3000/5 |
| TC4.6               | 295     | 25450   | Corrente de curto | 3000/5 |
| TC4.7               | 1018,52 | 25450   | Corrente de curto | 3000/5 |

## 4.2 Definições das classes de exatidão dos transformadores de corrente.

As classes de exatidão correspondem ao erro máximo de transformação, sendo respeitada a carga permitida. Em transformadores de corrente de medição, a exatidão padronizada esperada é de 0,3 ou 0,6% para medidas de laboratório e faturamento ou ainda, de 1,2% para os demais tipos de medição. Por outro lado, tem-se os transformadores de corrente de proteção, que serão os TC's utilizados neste projeto, onde o erro esperado é de 5 ou 10%.

Logo, para a determinação das classes de exatidão dos transformadores de corrente é necessário levar em consideração dois fatores:

- 1) Erro máximo de transformação esperado: Neste trabalho se escolherá o erro máximo de transformação de 10%.
- 2) Reatância de dispersão: Neste trabalho se escolherá TC's de alta reatância.

Tensão máxima nos secundários dos TC's: Esta tensão varia de acordo com a impedância dos secundários dos TC's, conhecida como *burden*, e com máxima corrente circulante no secundário do TC, ou seja, a corrente de curto-circuito máxima referida ao secundário. Para o cálculo da tensão máxima, será adotado a impedância de  $1\Omega$ .

Além dessas premissas, para a especificação dessas classes, será utilizada a norma ANSI, que nos traz as seguintes possibilidades.

Figura 3 - Classe de exatidão de acordo com a norma ANSI.

$$\left\{ \begin{matrix} 2,5 \\ 5 \\ 10 \end{matrix} \right\} \left\{ \begin{matrix} L \\ H \end{matrix} \right\} \left\{ \begin{matrix} 10 \\ 20 \\ 50 \\ 100 \\ 200 \\ 400 \\ 800 \end{matrix} \right\}$$

Para especificação das classes de exatidão, é necessário utilizar a máxima corrente de curto-circuito e a RTC do TC em questão. Logo, é preciso utilizar os dados da tabela 4. A seguir serão demonstradas como serão especificados as classes de exatidão de alguns TC's.

TC1: Este TC possui RTC 300/5 e está submetida a corrente de curto de 836A. Assim:

$$I_{s_{max}} = \frac{I_{cc_{max}}}{RTC} \quad (4.2.0)$$

$$I_{s_{max}} = \frac{I_{cc_{max}}}{RTC} = \frac{836}{300/5} = 13,93A$$

Devido a esta corrente no secundário do TC e a impedância de carga valor  $1\Omega$  temos:

$$V_{max} = Z_t \times I_{s_{max}} \quad (4.2.1)$$

$$V_{max} = Z_t \times I_{s_{max}} = 1\Omega \times 13,93A = 13,93V$$

De acordo com a Figura 3 e com as premissas anteriores, a classe de exatidão que atenderá as necessidades deste TC é 10H20.

A partir deste exemplo de especificação das classes de exatidão dos TC's, foi montada uma tabela com a especificação de todas as classes de exatidão dos TC's da planta. O resultado pode ser visto na tabela 6.

Tabela 6 - Classe de exatidão dos TC's.

| Identificação do TC | lcc(A) | RTC    | Classe de exatidão |
|---------------------|--------|--------|--------------------|
| TC1                 | 836    | 300/5  | 10H20              |
| TC1.1               | 836    | 600/5  | 10H10              |
| TC1.2               | 4007   | 3000/5 | 10H10              |
| TC2                 | 1395   | 400/5  | 10H20              |
| TC2.1               | 1700   | 150/5  | 10H100             |
| TC2.2               | 1700   | 150/5  | 10H100             |
| TC2.3               | 1880   | 200/5  | 10H50              |
| TC2.4               | 1880   | 200/5  | 10H50              |
| TC2.5               | 4900   | 800/5  | 10H50              |
| TC2.6               | 4900   | 800/5  | 10H50              |
| TC2.7               | 12690  | 3000/5 | 10H50              |
| TC2.8               | 12690  | 3000/5 | 10H50              |
| TC2.9               | 12690  | 3000/5 | 10H50              |
| TC3.0               | 12690  | 3000/5 | 10H50              |
| TC3.1               | 6939   | 800/5  | 10H50              |
| TC3.2               | 6939   | 400/5  | 10H100             |
| TC3.3               | 6939   | 400/5  | 10H100             |
| TC3.4               | 6939   | 400/5  | 10H100             |
| TC3.5               | 6939   | 1200/5 | 10H50              |
| TC4.1               | 25450  | 3000/5 | 10H50              |
| TC4.2               | 25450  | 3000/5 | 10H50              |
| TC4.3               | 25450  | 3000/5 | 10H50              |
| TC4.4               | 25450  | 3000/5 | 10H50              |
| TC4.5               | 25450  | 3000/5 | 10H50              |
| TC.4.6              | 25450  | 3000/5 | 10H50              |

## 5.0 Limites térmicos e características de energização de transformadores.

O limite térmico dos transformadores, ou seja, a corrente máxima que o transformador suporta em um determinado tempo depende de sua impedância percentual e também de sua corrente nominal. Este ponto é denominado como ponto ANSI do transformador, tem como base a seguinte relação:

$$\frac{I_{ansi}}{I_n} = \frac{100}{Z\%} \quad (5.0)$$

A partir da expressão 5.0, é apresentada uma que indica valores normalizados usualmente de corrente e tempo para a determinação do ponto ANSI de um dado transformador.

Tabela 7 - Tabela ANSI dos transformadores.

| Impedância do transformador | I <sub>cc</sub> assimétrica, em múltiplo de I <sub>n</sub> (A) | Tempo admissível em segundos |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------|
| 4                           | 25I <sub>n</sub>                                               | 2                            |
| 5                           | 20I <sub>n</sub>                                               | 3                            |
| 6                           | 16,6I <sub>n</sub>                                             | 4                            |
| 7                           | 14,3I <sub>n</sub>                                             | 5                            |

## 5.1 Energização de transformadores.

A energização de transformadores deve ser levada em consideração em estudos de proteção para que os ajustes sejam feitos da melhor maneira possível. A corrente de magnetização de transformadores, conhecida como corrente de inrush, é uma corrente elevada que pode chegar de 8 a 10 vezes a corrente nominal num período de 100ms. Tendo em vista esta necessidade, adota-se a corrente de mag-

netização dos transformadores 8 vezes a corrente nominal no tempo de 100ms. Portanto:

$$I_{\text{inrush}} = 8 \times I_{\text{nominal}} \quad (5.1.0)$$

A partir disto, na tabela 8 é possível a visualização das correntes de magnetização dos transformadores da planta a ser estudada:

Tabela 8 - Corrente de magnetização dos transformadores.

| <b>Transformador</b> | <b><math>I_n</math><br/>(A)(138kV)</b> | <b>Corrente Inrush(A)</b> |
|----------------------|----------------------------------------|---------------------------|
| Transformador T-30   | 230,1                                  | 1840,82                   |
| Transformador T2-A   | 437,5                                  | 3500                      |
| Transformador T2-B   | 437,5                                  | 3500                      |
| Transformador T1-A   | 83,67                                  | 669,36                    |
| Transformador T1-B   | 83,67                                  | 669,36                    |

De posse da corrente de inrush dos transformadores, ajustar-se-á a proteção para que ocorra a energização destes transformadores sem que a proteção atue indevidamente.

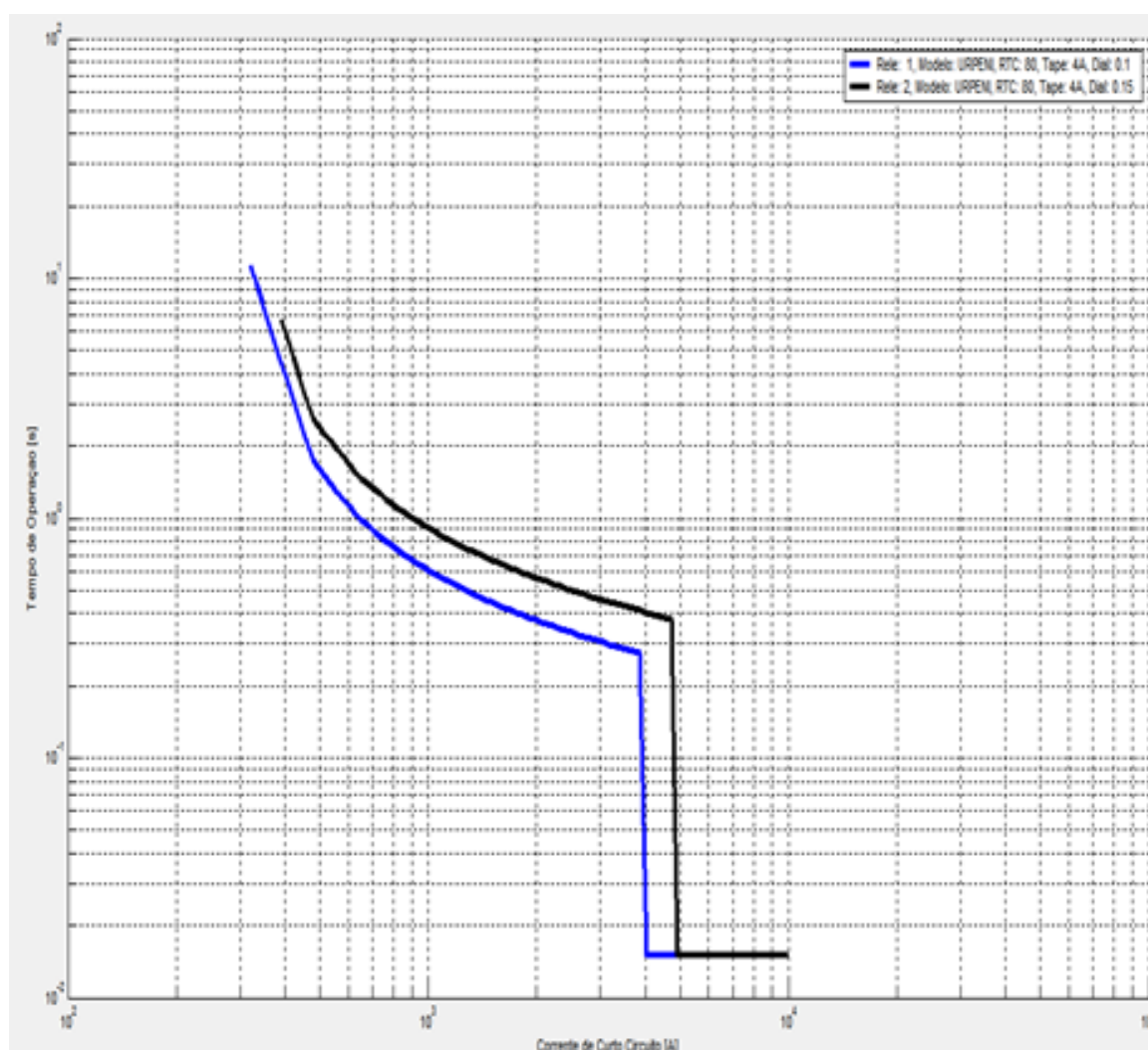
## **6.0 Considerações e aspectos teóricos a respeito de ajuste e coordenação da proteção.**

É sabido que os relés de sobrecorrente devem atuar de modo que a falta possa ser rapidamente removida sem que outras partes do sistema possam ser afeta-

das. A partir desta premissa, a coordenação deve ser projetada de forma que os relés atuem excluindo a parte defeituosa de maneira seletiva e no menor tempo possível, reduzindo os danos causados pelas correntes de curto-circuito.

Com objetivo de promover seletividade e rapidez aos relés, ou seja, para uma dada falta no sistema o relé mais próximo ao defeito deverá abrir o circuito de maneira rápida atuando no mínimo de disjuntores e desligando o menor número possível de setores. Para exemplificação da premissa anterior, a figura 4 exemplifica um caso de dois relés de sobrecorrente em série.

Figura 4 - Exemplo de boa coordenação.



## 6.1 Curvas características dos relés de sobrecorrente.

Neste projeto serão utilizados apenas relés digitais, portanto, faz-se necessário mostrar no que se fundamenta esses relés. Primeiramente, é importante ressaltar a equação que se baseia as curvas aqui demonstradas:

$$t = \frac{K * dt}{(M^\alpha - 1)} \quad (6.1.0)$$

Onde:

t: Tempo de atuação do relé;

K: Constante que caracteriza o relé;

Dt: Dial de tempo;

$\alpha$ : constante que caracteriza a curva;

M: Múltiplo da corrente de atuação (corrente de pick-up);

Na medida em que o K e  $\alpha$  varia, tem-se um novo tipo de curva. Entretanto, pela norma internacional IEC60255-3, temos curvas padronizadas, conforme a tabela a seguir:

Tabela 9 - Curvas padronizadas conforme a norma IEC 60255-3.

| <b>Normalmente Inversa</b>             | <b>Muito Inversa</b>              | <b>Extremamente Inversa</b>     | <b>Tempo longo</b>              |
|----------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| $t = \frac{0,14 * dt}{(M^{0,02} - 1)}$ | $t = \frac{13,5 * dt}{(M^1 - 1)}$ | $t = \frac{80 * dt}{(M^2 - 1)}$ | $t = \frac{80 * dt}{(M^1 - 1)}$ |

Fornecendo desta maneira, as curvas das figuras 5 a 8 que dependem do dial de tempo para se transladar verticalmente e da corrente de pick-up para transladar horizontalmente. Para apenas mostrar os diais em suas subdivisões serão apresentadas as curvas citadas da tabela 9.

Figura 5 - Curva normalmente inversa

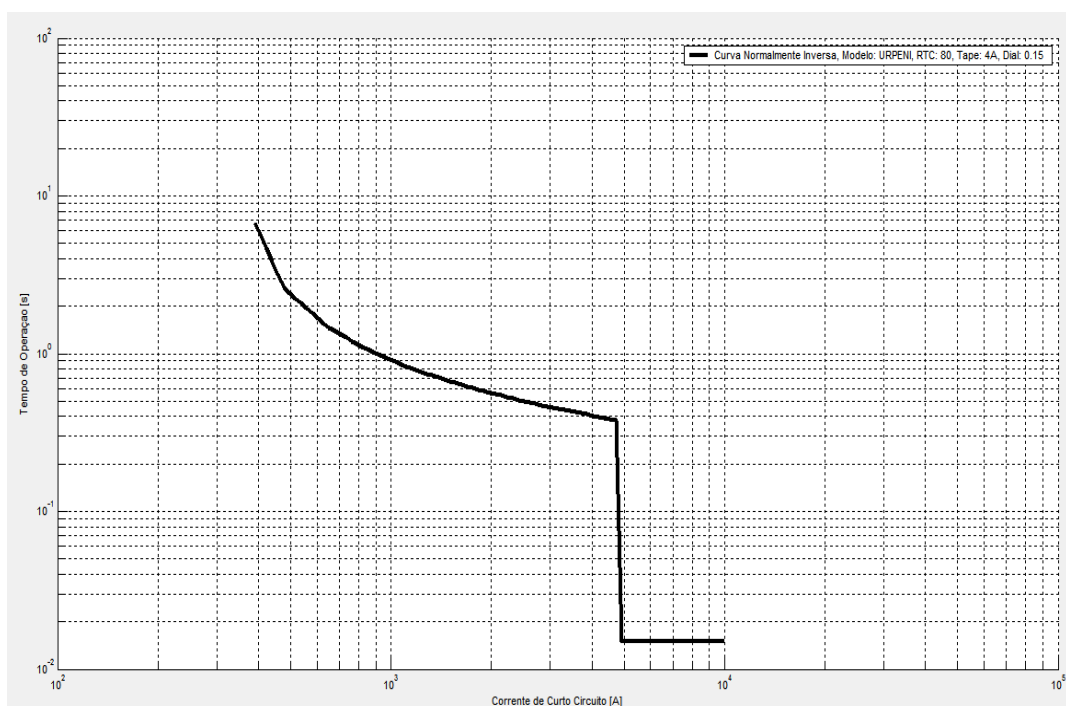


Figura 6 - Curva muito inversa.



Figura 7 - Curva extremamente inversa

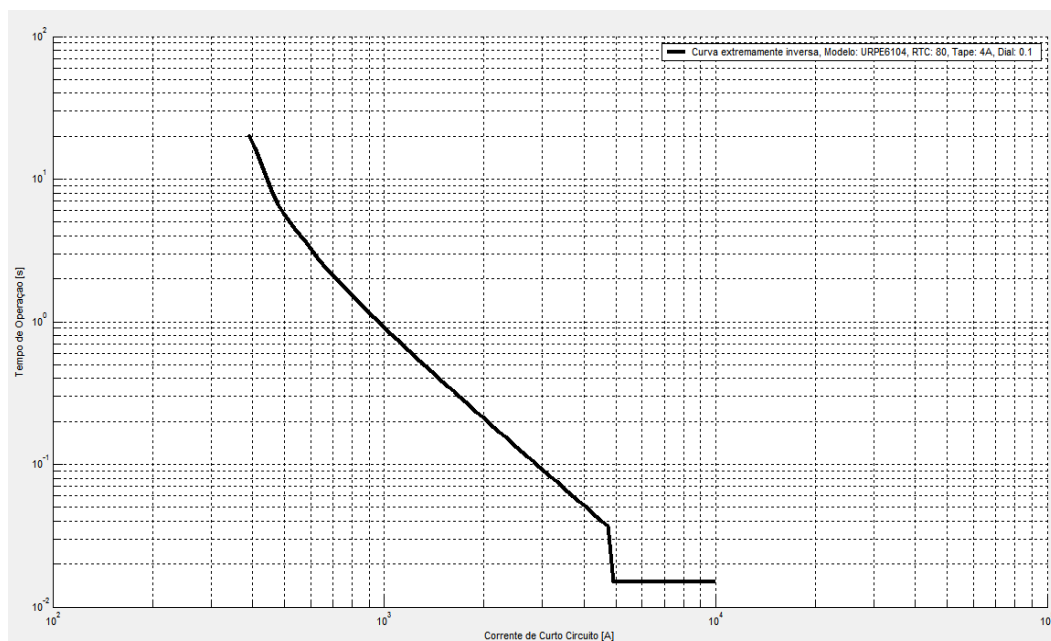
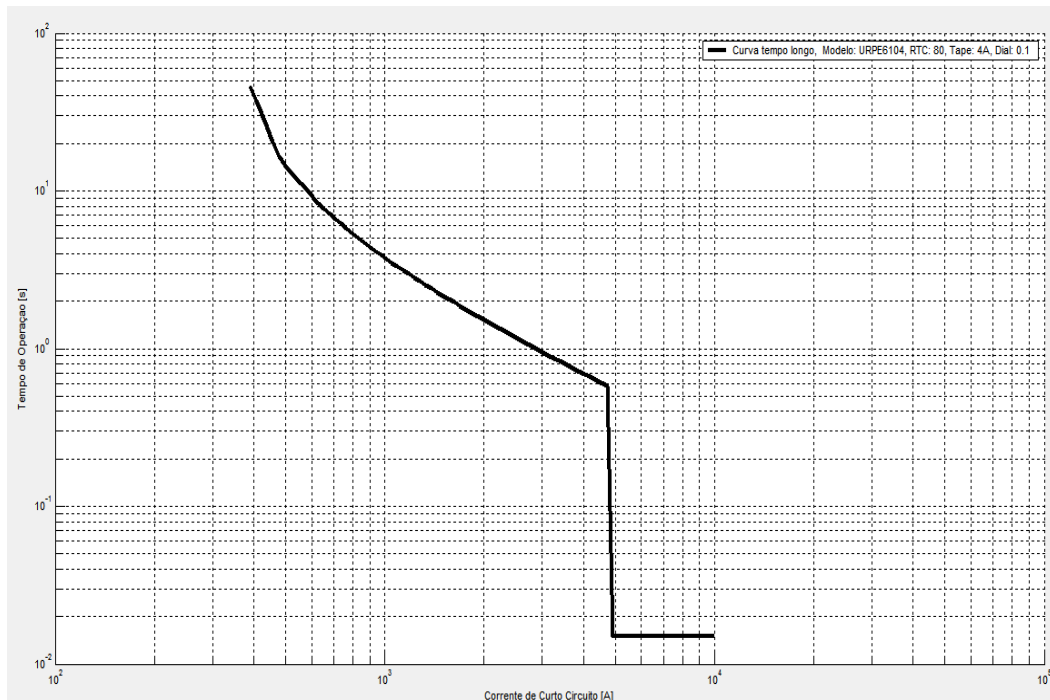


Figura 8 - Curva de tempo longo



## 6.2 Considerações acerca dos ajustes dos relés com foco na função sobrecorrente.

Nessa subseção será tratado a respeito do tape dos relés alocados na planta. Estes ajustes estão relacionados a uma possível sobrecarga, ajustes conhecido como corrente de pick-up. Esta é uma corrente ajustada na função 51 de tal forma que se permita uma sobrecarga não danosa ao equipamento.

Este ajuste de tape é realizado com o objetivo então proteger os equipamentos imediatamente a jusante do relé. Caso ocorra uma falha neste relé a jusante, assim como já explicitado nas subseções anteriores, o relé imediatamente a montante deverá atuar como retaguarda, isto é, deve atuar em tempo ágil para que não danifique os transformadores nem os equipamentos da indústria.

Esta diferença de tempo entre os relés aqui será adotado como um intervalo próximo de 0,3 a 0,4 segundos. Este tempo também será aplicada aos relés de neutro desta instalação. (51N e 50N)

No que se diz respeito a corrente de  $I_{\text{pickup}}$ , é importante citar que neste projeto será permitido uma sobrecarga nos equipamentos dependendo de sua localidade. Em se tratando relativo às cargas das subestações; 20% de sobrecarga no secundário e 30% de sobrecarga no primário dos transformadores; 40% de sobrecarga no relé de entrada do ramal 1 e 30% no relé de sobrecarga no ramal 2. Logo, dependendo das cargas e suas respectivas localidades, utiliza-se as equações de (6.2.0) a (6.2.3).

$$I_{\text{pickup-fase}} = 1,1 I_{\text{nominal}} \quad (6.2.0)$$

$$I_{\text{pickup-fase}} = 1,2 I_{\text{nominal}} \quad (6.2.1)$$

$$I_{\text{pickup-fase}} = 1,3 I_{\text{nominal}} \quad (6.2.2)$$

$$I_{\text{pickup-fase}} = 1,4 I_{\text{nominal}} \quad (6.2.3)$$

De posse da corrente de pick-up pode-se definir o tape que depende dessa corrente e da relação de transformação do TC (RTC) em que o relé está locado. A expressão (6.2.4) mostra como é determinado o tape:

$$\text{Tape}_{51} = \frac{I_{\text{pickup-fase}}}{\text{RTC}} \quad (6.2.4)$$

Com estas equações acima supracitadas, parametriza-se a função 51. Juntamente com esta função, é necessário o ajuste da função 50, da seguinte forma:

$$\text{Tape}_{50} = \frac{I_{\text{cc}}}{\text{RTC}} \quad (6.2.5)$$

Uma observação importante a ser realizada sobre a parametrização da corrente de ajuste da função 50 neste projeto, a componente continua da corrente de curto não será considerada, pois os relés digitais possuem filtros capazes de fazer o reconhecimento e filtragem.

Sobre as funções sobrecorrente de neutro temporizado (51N) e o instantâneo (50N) será adotado neste trabalho os seguintes ajustes:

$$I_{pickupN} = 0,25I_{pickup-fase} \quad (6.2.6)$$

$$Tape_{51N} = \frac{I_{pickupN}}{RTC} \quad (6.2.7)$$

Para a função 50N temos:

$$Icc_{50N} = 0,25Icc_{fase} \quad (6.2.8)$$

$$Tape_{50N} = \frac{Icc_{50N}}{RTC} \quad (6.2.9)$$

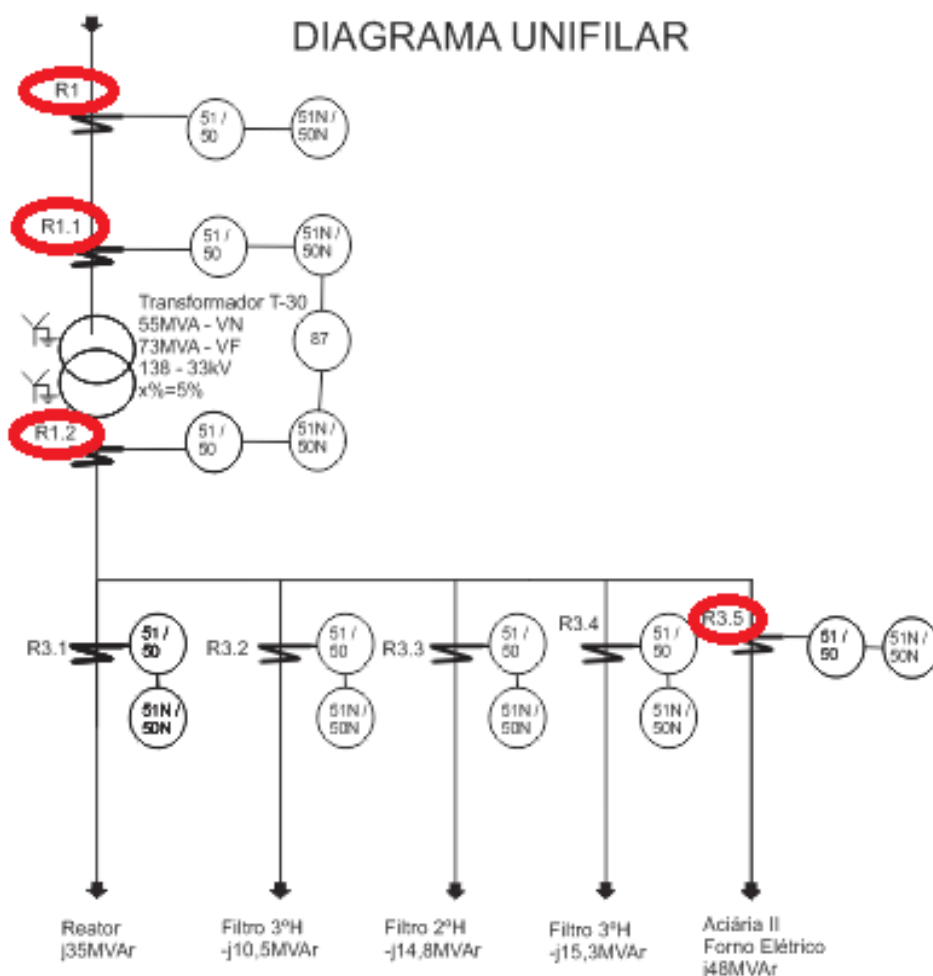
Estes valores utilizados como ajustes das funções acima não se referem a alguma norma, mas é sim uma questão de bom senso, pois em condições normais devido ao desequilíbrio do sistema sempre haverá uma corrente de circulação pelo neutro e, portanto, quanto menor for esse valor de ajuste do relé, maior o risco de uma atuação indevida da proteção de neutro.

## **7 Ajustes e coordenação do ramal 1.**

### **7.1 – Caso relés de fase R3.5; R1.2; R1.1; R1.**

Seguindo o critério de maior carga para realizar a coordenação dos relés o diagrama unifilar simplificado mostrado na figura 9 para melhor visualização deste caso.

Figura 9 - Diagrama unifilar simplificado do ramal 1.



➤ Relé R3.5;

As informações relevantes para este caso são:

$$I_n = 840A$$

$$RTC = 1200/5$$

$$I_{cc} = 6938A$$

A corrente de pick-up conforme a equação (6.2.1) tem-se:

$$I_{pickup-fase} = 1,2 \times 840 = 1008A$$

Portanto, o tape será conforme a equação (6.2.4):

$$Tape_{51} = \frac{1008}{\frac{1200}{5}} = 4,2A$$

Para a função 50, o critério de projeto define-se que a corrente de curto seja  $I_{cc} = 2000A$  em um tempo de 150 mili segundos e de acordo com a equação (6.2.5) tem-se:

$$Tape_{50} = \frac{I_{cc}}{RTC} = \frac{2000}{\frac{1200}{5}} = 8,33A$$

Para visualização dos coordenogramas será utilizada o software PlotCoord. A primeira etapa da parametrização consiste baseada nos dados de RTC, pick-up, tape da curva da função 51, como ilustra a figura 10.

Figura 10 - Parametrização da função 51 do relé R3.5.

Na figura 10 nota-se que, no parâmetro de proteção 'Modelo' é possível escolher o modelo de relé que melhor se adequa ao projeto e, no parâmetro 'Curva/dial'

escolhe-se o dial das famílias dos relés digitais. Para o relé R3.5 a curva escolhida foi URPENI com dial de tempo 0,15.

A segunda etapa consiste na parametrização da unidade 50, no software deve-se habilitar a função 'Unidade Instantânea', inserir os valores já calculados de tape e tempo e dessa maneira tem-se a figura 11.

Figura 11 - Parametrização da função 50 do relé R3.5.

50/51

Unidade Temporizada (51):

Curva/Dial

0.15

Multiplo para Operação 1.

Multiplo de Tempo 1

Tempo Minimo [s] 0.035

Tempo de Atraso (62) [s] 0

☒ Unidade Instantanea (50):

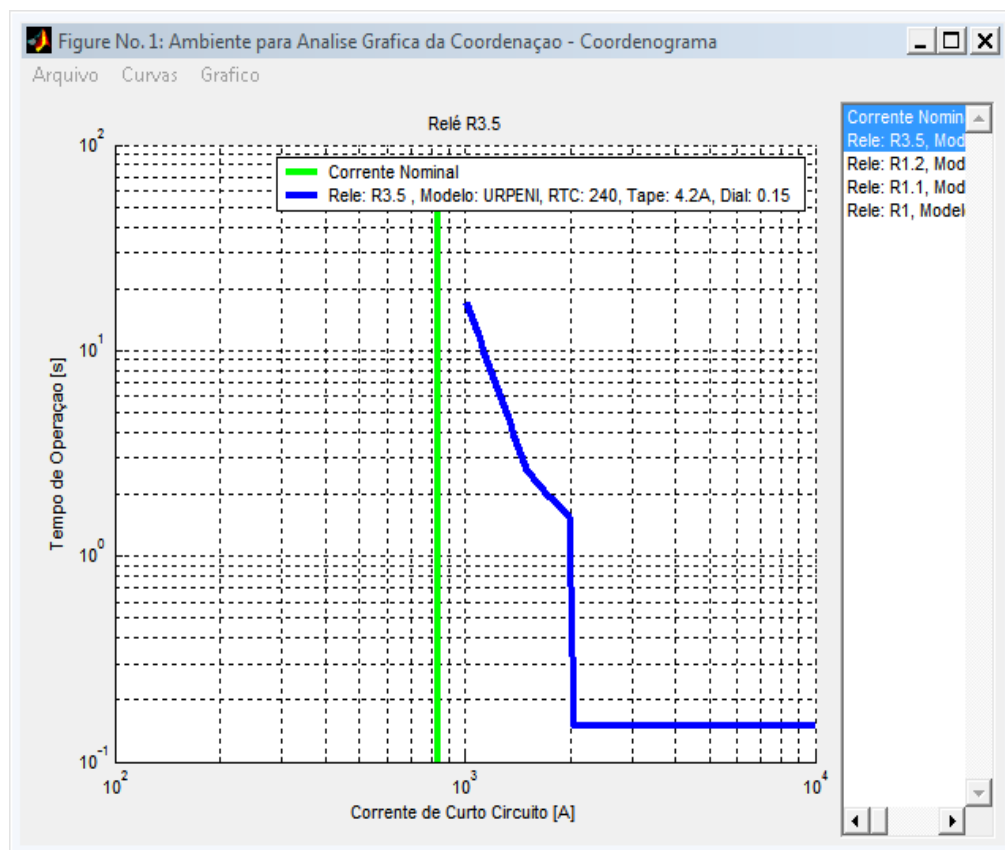
Tape [A] 8.33

Tempo [s] 0.15

Aceitar Cancelar

Para os ajustes e parametros da figura 11 como resultado tem-se a figura 12 que consiste na curva plotada no software.

Figura 12 - Relé R3.5 no software plotcoord.



➤ Relé R1.2;

As informações relevantes para este caso são:

$$I_n = 962,25A$$

$$RTC = \frac{3000}{5}$$

$$I_{cc} = 4007A$$

Assim como realizado pro relé R3.5, abaixo serão apresentados os cálculos:

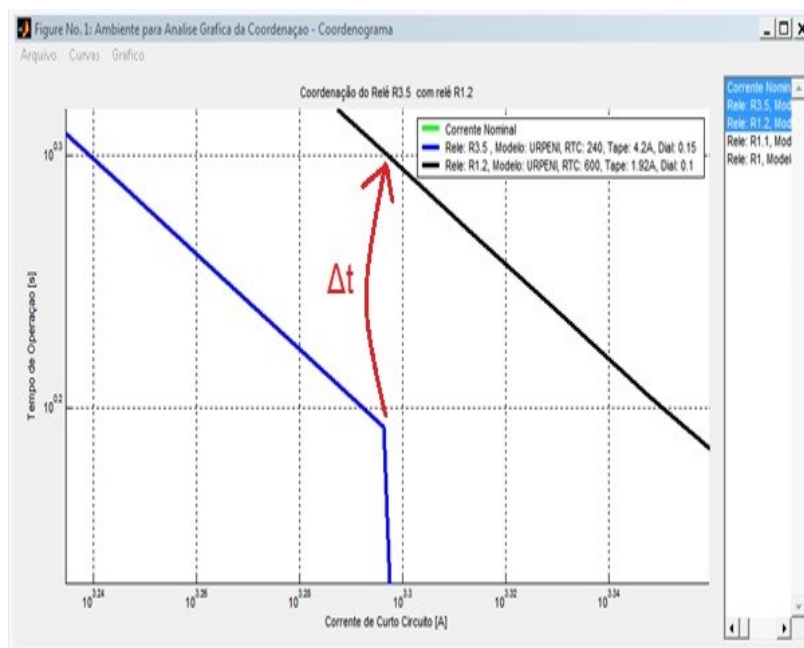
$$I_{pickup-fase} = 1,2 \times I_n = 1,2 \times 962,25 = 1155A$$

$$Tape_{51} = \frac{1155}{\frac{3000}{5}} = 1,92A$$

Para a função 50, define-se que a corrente de curto seja  $I_{cc} = 2500A$  em 150ms. De acordo com a equação (6.2.5) temos:

$$Tape_{50} = \frac{2500}{\frac{3000}{5}} = 4,166A$$

Figura 13 - Escolha da curva do relé R1.2.



Para realizar a escolha da próxima curva deve-se atentar a diferença de tempo entre a curva 'tempo x corrente' dos dois relés mais próximos fique com margem aproximadamente 0,4 segundos. Quanto menor o tempo entre as curvas, menor será o tempo de resposta do relé a montante. Na figura 13 mostra claramente o intervalo de tempo entre as curvas dos relés R3.5 e R1.2.

Analogamente ao caso R3.5, a curva URPENI fora escolhida com dial 0,15 por melhor se adequar para o relé R1.2. Para o cálculo do  $\Delta t$  tem-se:

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad (8.1)$$

- $t_2$ : Tempo de atuação da proteção na curva montante relativo à função 50 do relé a jusante acrescido do  $\Delta t$ .
- $t_1$ : Tempo de atuação da função 50 da curva inferior.

Para este caso, temos os seguintes cálculos:

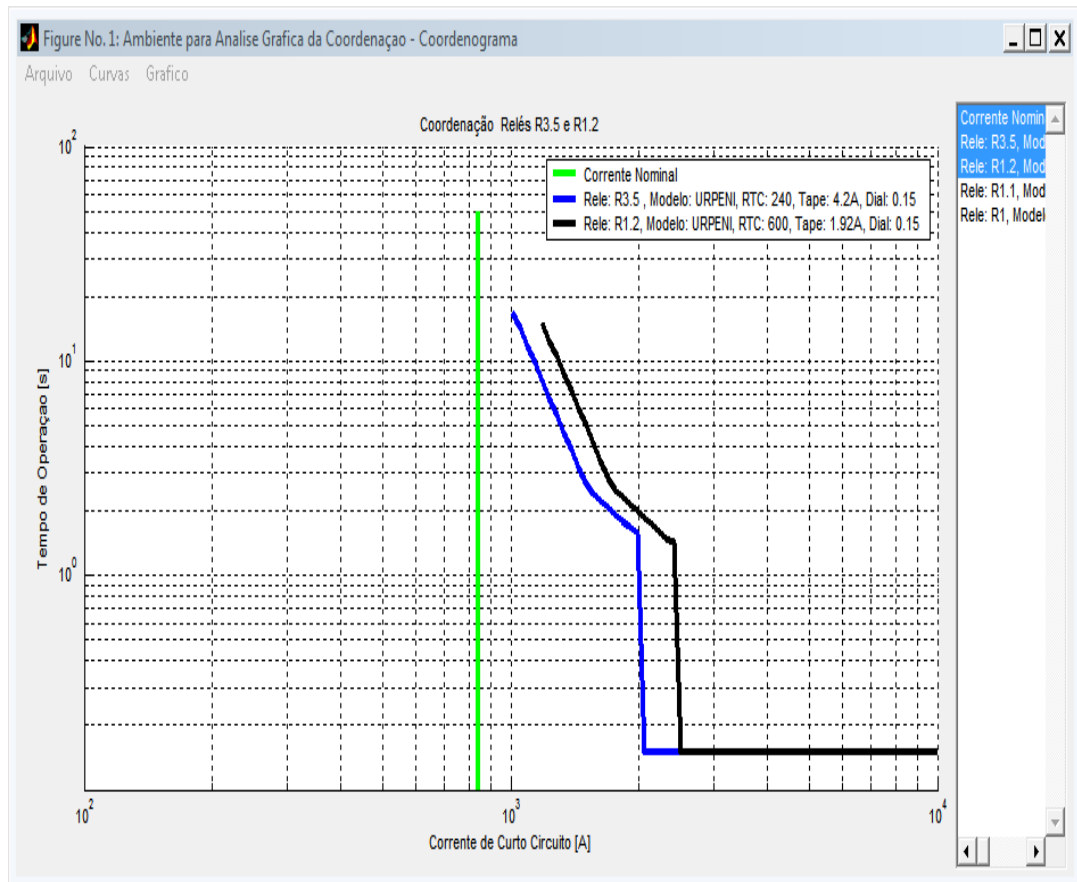
$$\Delta t = t_2 - t_1$$

$$\Delta t = 10^{0,3} - 10^{0,1925}$$

$$\Delta t = 0,438s$$

Portanto, para esta curva o coordenograma se encontra na figura 14.

Figura 14 - Coordenação relés R3.5 e R1.2.



- Relé R1.1;

As informações importantes para este caso são:

$$I_n = 230A$$

$$RTC = 600/5$$

$$I_{cc} = 836A$$

Uma observação que deve ser ressaltada devido a localização do relé na alta tensão (138kV), os valores encontrados deverão ser convertidos a tensão de 33kV, tensão a qual foi montada o coordenograma. Portanto de acordo com as equações (6.2.3), (6.2.4) e (6.2.5) tem-se:

$$I_{pickup-fase} = 1,3 \times I_n = 1,3 \times 230 = 299A$$

$$Tape_{51} = \frac{299}{600/5} = 2,49166A$$

Este relé possui duas peculiaridades:

- I. Deverá permitir a passagem da corrente de energização do transformador, conhecida como corrente de inrush, que possui magnitude de 1840A em 100ms.
- II. Deverá garantir a proteção térmica do transformador relativo ao ponto ANSI.

Para parametrização da função 50, deseja-se que a corrente de curto seja  $I_{cc} = 670A$  acordo com a equação (6.2.5), tem-se:

$$Tape_{50} = \frac{I_{cc}}{RTC} = \frac{670}{600/5} = 5,57A$$

Deverão ser inseridos no coordenograma o ponto ansi do transformador e a corrente de magnetização de acordo com as tabelas 7 e 8 respectivamente. Logo:

$$I_{inrush_{55MVA}} = 1840,82A$$

$$I_{ansi_{55MVA}} = 230,1 \times 20 = 4602,06A$$

De posse dos valores calculados, os mesmos devem ser convertidos a 33kV para serem inseridos no coordenograma portanto:

$$I_n = 230A \times \left( \frac{138}{33} \right) = 961,81A$$

$$I_{pickup} = 299 \times \left( \frac{138}{33} \right) = 1250,36A$$

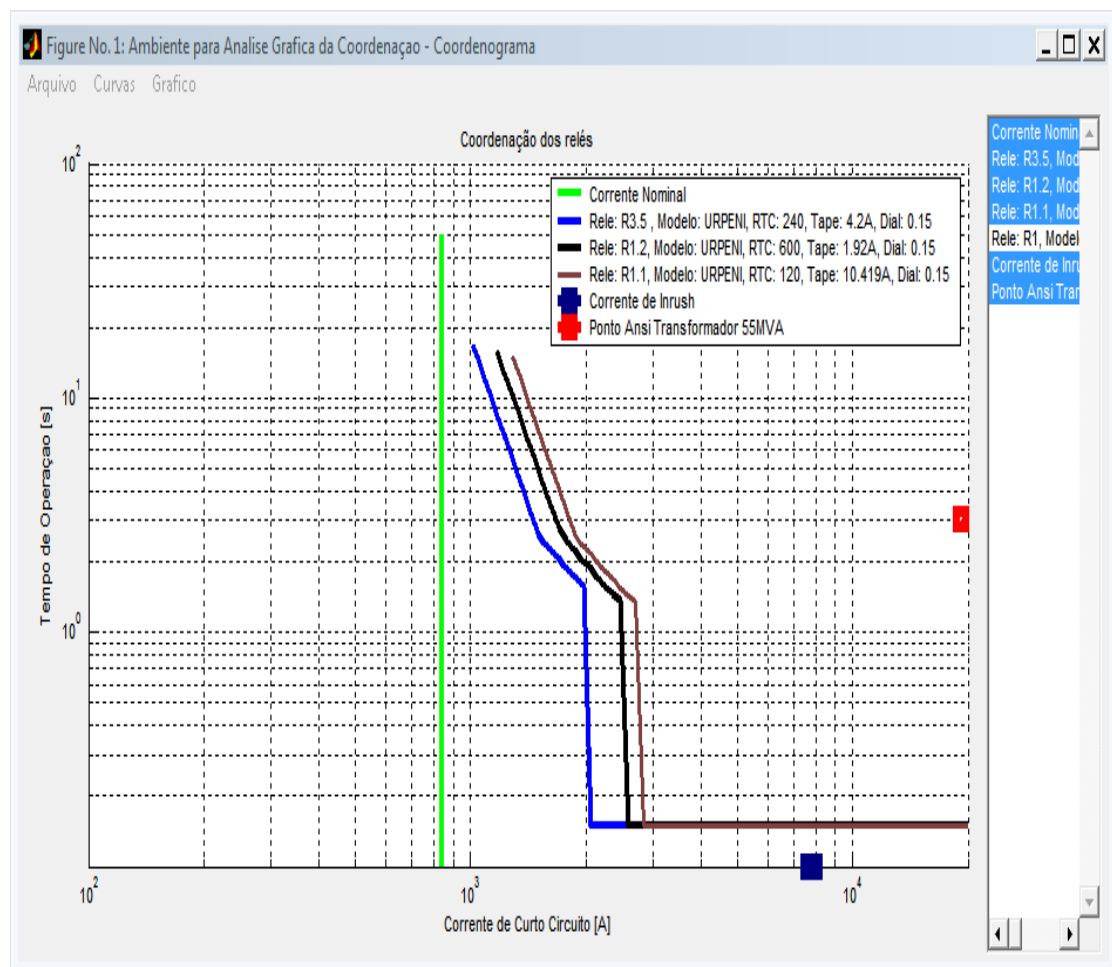
$$Tape_{51} = 2,49166 \times \left( \frac{138}{33} \right) = 10,419A$$

$$Tape_{50} = 5,57 \times \left( \frac{138}{33} \right) = 23,29A$$

$$I_{inrush_{55MVA}} = 1840,82 \times \frac{138}{33} = 7698A$$

$$I_{ansi_{55MVA}} = 4602,06 \times \left( \frac{138}{33} \right) = 19245A$$

Figura 15 - Coordenação relés R3.5, R1.2, R1.1.



Na figura 15, nota-se que sob os parâmetros ajustados os pontos mais relevantes para o transformador estão sob supervisão do relé R1.1, logo o transformador se encontra protegido.

- Relé R1;

As informações importantes sobre este relé são:

$$I_n = 230A$$

$$RTC = 300/5$$

$$I_{cc} = 836A$$

Assim como os anteriores, este relé deve fornecer a proteção retaguarda a todos os outros previamente parametrizados, sendo este a última possibilidade de proteção caso ocorra alguma falta. Conforme equações (6.2.3), (6.2.4) temos:

$$I_{pickup-fase} = 1,4 \times I_n = 1,4 \times 230 = 322A$$

$$Tape_{51} = \frac{322}{300/5} = 5,36A$$

Para a função 50, deseja-se que a corrente de curto seja  $I_{cc} = 765A$  e para isso, de acordo com a equação (6.2.5) tem-se:

$$Tape_{50} = \frac{I_{cc}}{RTC} = \frac{765}{300/5} = 12,75A$$

Para este, a curva URPENI com dial 0,15 melhor se encaixa para coordenação dos relés. O coordenograma do caso completo se encontra na figura 16 e os dados de parametrização se encontram na tabela 10.

Figura 16 - Coordenograma relés de fase R3.5; R1.2; R1.1; R1;

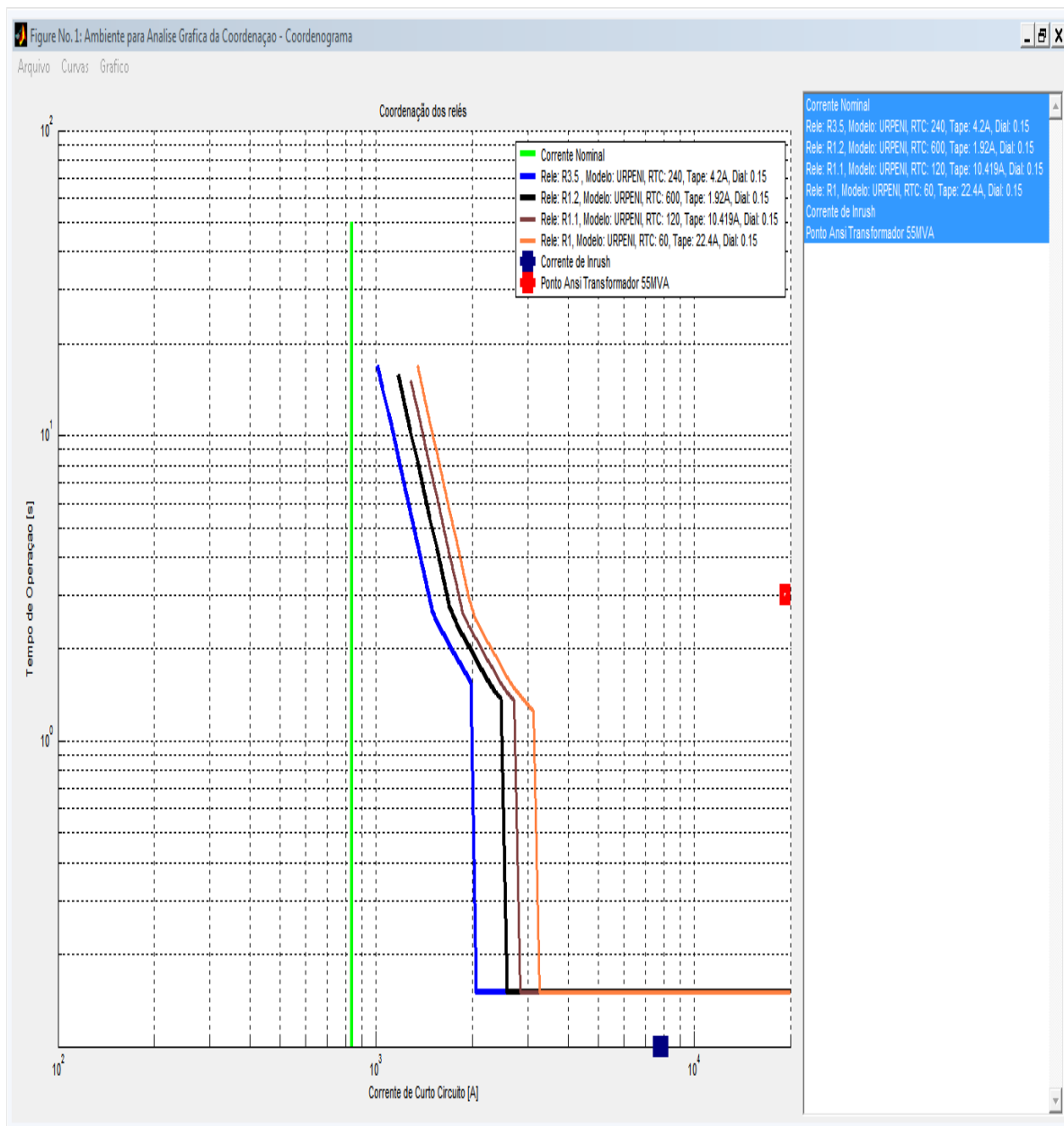


Tabela 10 -Dados de parametrização relés R3.5; R1.2; R1.1; R1.

| Relé | Função | Curva  | Tape <sub>51</sub> | Tape <sub>50</sub> | Dial |
|------|--------|--------|--------------------|--------------------|------|
| R3.5 | 51/50  | URPENI | 4,2                | 8,33               | 0,15 |
| R1.2 | 51/50  | URPENI | 1,92               | 4,166              | 0,15 |
| R1.1 | 51/50  | URPENI | 10,41              | 23,39              | 0,15 |
| R1   | 51/50  | URPENI | 22,4               | 51,31              | 0,15 |

#### 7.1.1 - Caso relés de neutro R3.5; R1.2; R1.1; R1.

Nesta subseção será dedicada à parametrização dos relés de neutro bem como a parametrização dos relés de fase. Para este caso temos:

➤ Relé R3.5;

As informações relevantes para este caso são:

$$I_{\text{pickup-fase}} = 1008\text{A}$$

$$RTC = 1200/5$$

$$I_{cc} = 2000\text{A}$$

De acordo com as equações (6.2.6), e (6.2.7):

$$I_{\text{pickupN}} = 0,25 I_{\text{pickup-fase}}$$

$$I_{\text{pickupN}} = 0,25 \times 1008 = 252\text{A}$$

Para o cálculo do tape da função 51N, temos:

$$\text{Tape}_{51N} = \frac{I_{\text{pickupN}}}{RTC}$$

$$Tape_{51N} = \frac{252}{1200/5} = 1,05A$$

Para a parametrização da função 50, de acordo com as equações (6.2.8) tem-se os seguintes cálculos:

$$I_{cc_{50N}} = 0,25I_{cc_{fase}}$$

$$I_{cc_{50N}} = 0,25 \times 2000 = 500A$$

Para o cálculo do tape, utilizando a equação (6.2.9):

$$Tape_{50N} = \frac{I_{cc_{50N}}}{RTC}$$

$$Tape_{50N} = \frac{500}{1200/5}$$

$$Tape_{50N} = 2,0833A$$

➤ Relé R1.2;

As informações importantes para este caso são:

$$I_{pickup-fase} = 1155A$$

$$RTC = 3000/5$$

$$I_{cc} = 2500A$$

Assim como os casos anteriores, este caso seguirá o mesmo raciocínio e, portanto serão apresentados apenas os cálculos.

$$I_{pickupN} = 0,25 I_{pickup-fase}$$

$$I_{pickupN} = 0,25 \times 1155 = 288,75A$$

$$Tape_{51N} = \frac{I_{pickupN}}{RTC}$$

$$Tape_{51N} = \frac{288,75}{3000/5} = 0,48125A$$

$$I_{cc_{50N}} = 0,25 I_{cc_{fase}}$$

$$I_{cc_{50N}} = 0,25 \times 2500 = 625A$$

$$Tape_{50N} = \frac{625}{3000/5} = 1,04166$$

➤ Relé R1.1;

As informações relevantes para este caso são:

$$I_{pickup-fase} = 299A$$

$$RTC = 600/5$$

$$I_{cc} = 670A$$

$$I_{pickupN} = 0,25 I_{pickup-fase}$$

$$I_{pickupN} = 0,25 \times 299 = 74,75A$$

$$Tape_{51N} = \frac{I_{pickupN}}{RTC}$$

$$Tape_{51N} = \frac{74,75}{600/5} = 0,6229A$$

$$I_{cc_{50N}} = 0,25 I_{cc_{fase}}$$

$$I_{cc_{50N}} = 0,25 \times 670 = 167,5A$$

$$Tape_{50N} = \frac{167,5}{600/5} = 1,3958A$$

De posse desses valores calculados em alta tensão, os mesmos deverão ser convertidos a MT. Abaixo segue a conversão dos dados para 33kV:

$$I_{pickupN} = 74,75 \times \frac{138}{33} = 312,59A$$

$$Tape_{51N} = 0,6229A \times \frac{138}{33} = 2,60485A$$

$$I_{cc_{50N}} = 167 \times \frac{138}{33} = 698,36A$$

$$Tape_{50N} = 1,3958 \times \frac{138}{33} = 5,833A$$

➤ Relé R1;

As informações relevantes para este caso são:

$$I_{pickup-fase} = 322A$$

$$RTC = 300/5$$

$$I_{cc} = 765A$$

$$I_{pickupN} = 0,25 I_{pickup-fase}$$

$$I_{pickupN} = 0,25 \times 322 = 80,5A$$

$$Tape_{51N} = \frac{I_{pickupN}}{RTC}$$

$$Tape_{51N} = \frac{80,5}{300/5} = 1,3416A$$

$$I_{cc_{50N}} = 0,25I_{cc_{Fase}}$$

$$I_{cc_{50N}} = 0,25 \times 765 = 191,25A$$

$$Tape_{50N} = \frac{191,25}{300/5} = 3,1875A$$

Os valores acima calculados se referem à alta tensão, logo os mesmos para serem inseridos no coordenograma deverão ser convertidos para a média tensão. Abaixo segue a conversão dos dados.

$$I_{pickupN} = 80,5 \times \frac{138}{33} = 336,63A$$

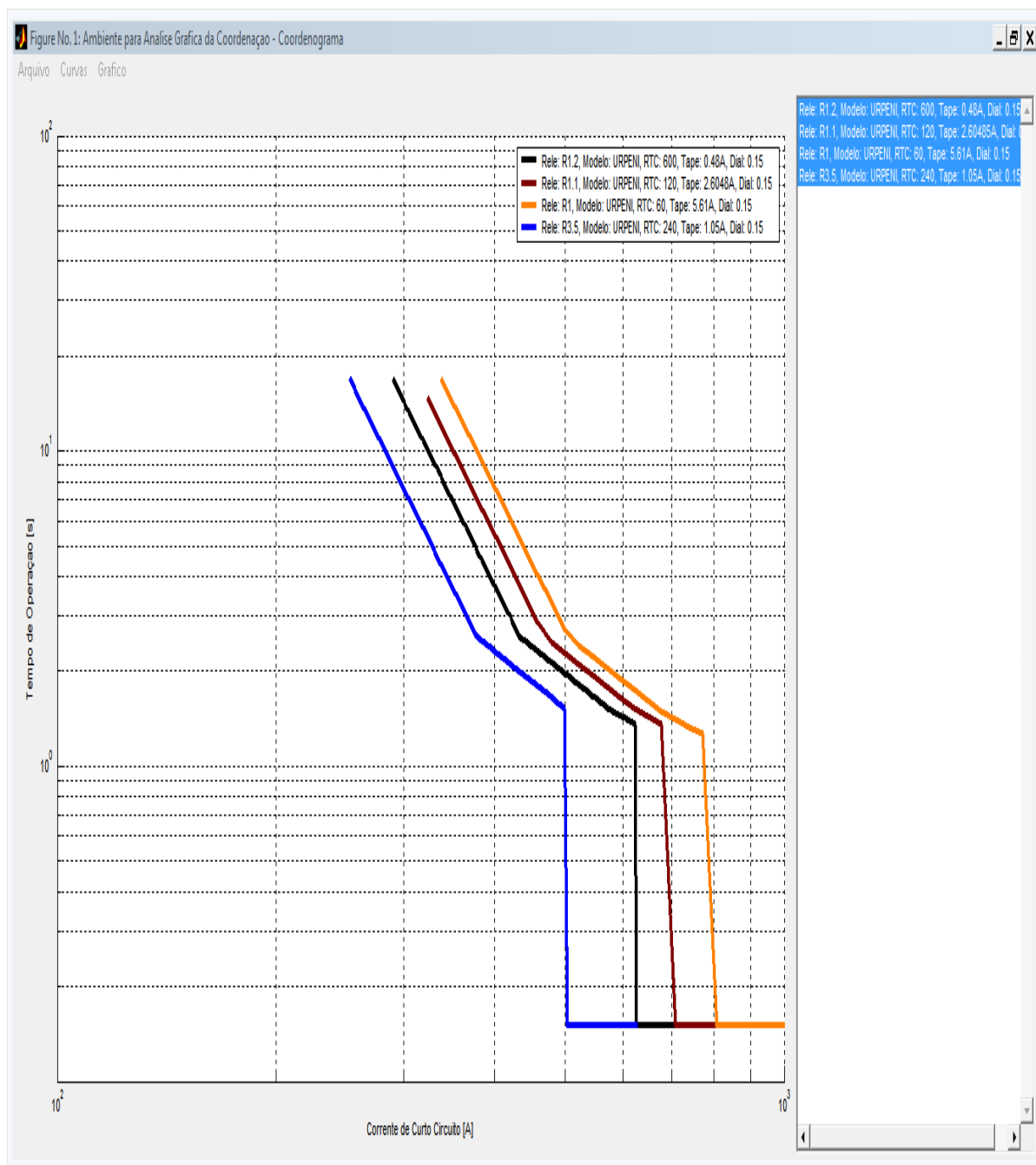
$$Tape_{51N} = 1,3416A \times \frac{138}{33} = 5,61A$$

$$I_{cc_{50N}} = 191,25 \times \frac{138}{33} = 799,76A$$

$$Tape_{50N} = 3,1875 \times \frac{138}{33} = 13,32A$$

Desta maneira, todos os dados podem ser inseridos no coordenograma que encontra-se na figura 17.

Figura 17 - Coordenograma relés de neutro R3.5; R1.2; R1.1; R1.



A seguir, encontra-se a tabela 11 com os respectivos dados da parametrização dos relés de neutro desta subseção.

Tabela 11 - Dados de parametrização relés de neutro R3.5; R1.2; R1.1; R1.

| Relé | Função  | Curva  | Tape <sub>51N</sub> | Tape <sub>50N</sub> | Dial |
|------|---------|--------|---------------------|---------------------|------|
| R3.5 | 51N/50N | URPENI | 1,05                | 2,0833              | 0,15 |
| R1.2 | 51N/50N | URPENI | 0,48                | 1,04166             | 0,15 |
| R1.1 | 51N/50N | URPENI | 2,6048              | 3,1875              | 0,15 |
| R1   | 51N/50N | URPENI | 5,61                | 13,32               | 0,15 |

## 7.2 - Caso relés de fase R3.1; R1.2; R1.1; R1.

As informações relevantes para este caso são:

$$I_n = 613A$$

$$RTC = 800/5$$

$$I_{cc} = 6938A$$

$$I_{pickup} = 1,2 \times I_n = 1,2 \times 613A = 735,6A$$

$$Tape_{51} = \frac{735,6}{800/5} = 4,59A$$

Para o ajuste da função 50, assim como na subseção anterior foram ajustados para a corrente de curto de  $I_{cc} = 2000A$  nesse relé R3.1 seguirá o mesmo raciocínio.

$$Tape_{50} = \frac{I_{cc}}{RTC} = \frac{2000}{800/5} = 12,5A$$

A seguir é possível a visualização das curvas no coordenograma da figura 18 e na tabela 12 os respectivos dados de parametrização.

Figura 18 - Coordenograma relés de fase R3.1; R1.2; R1.1; R1.

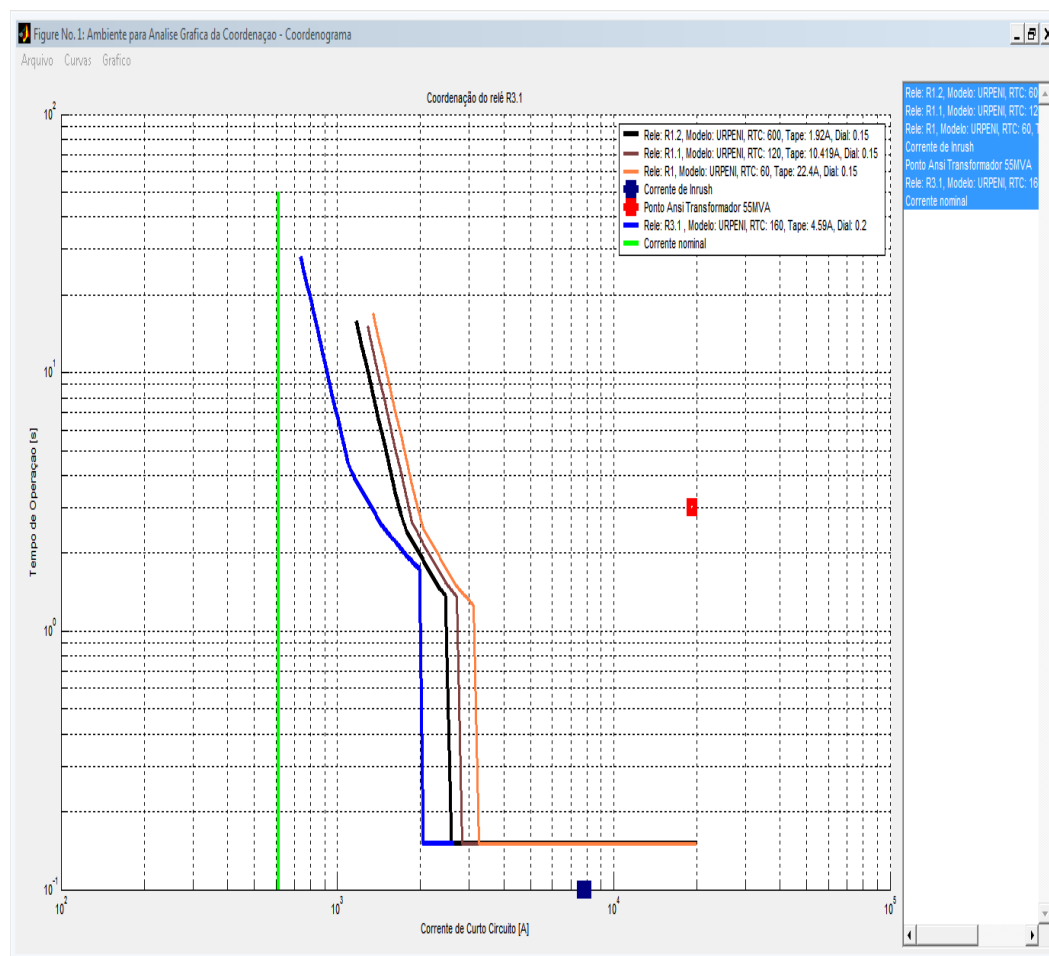


Tabela 12 – Dados de parametrização relé de fase R3.1.

| Relé | Função | Curva  | Tape <sub>51</sub> | Tape <sub>50</sub> | Dial |
|------|--------|--------|--------------------|--------------------|------|
| R3.1 | 51/50  | URPENI | 4,59               | 12,5               | 0,2  |

### 7.2.1 - Caso relés de neutro R3.1; R1.2; R1.1; R1.

➤ Relé R3.1;

As informações relevantes para este caso são:

$$I_{\text{pickup}} = 735,6\text{A}$$

$$RTC = 800/5$$

$$I_{cc} = 2000\text{A}$$

$$I_{\text{pickupN}} = 0,25 I_{\text{pickup-fase}}$$

$$I_{\text{pickupN}} = 0,25 \times 735,6 = 183,9\text{A}$$

$$\text{Tape}_{51\text{N}} = \frac{I_{\text{pickupN}}}{RTC}$$

$$\text{Tape}_{51\text{N}} = \frac{183,9}{800/5} = 1,1493\text{A}$$

$$I_{cc_{50\text{N}}} = 0,25 I_{cc_{\text{Fase}}}$$

$$I_{cc_{50\text{N}}} = 0,25 \times 2000 = 500\text{A}$$

$$\text{Tape}_{50\text{N}} = \frac{500}{800/5}$$

$$\text{Tape}_{50\text{N}} = 3,125\text{A}$$

Figura 19 - Coordenograma relé de neutro R3.1.

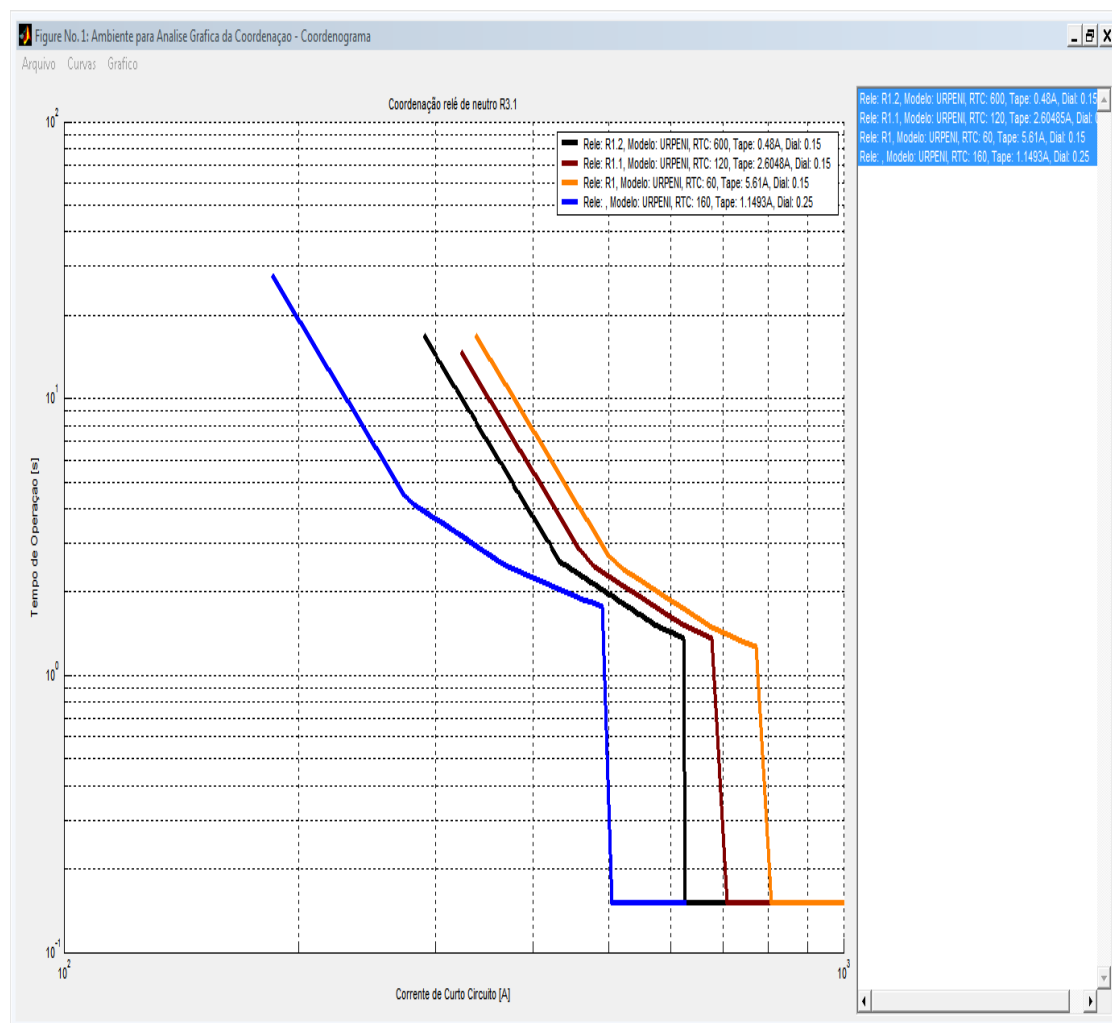


Tabela 13 – Dados de parametrização relé de neutro R3.1.

| Relé | Função  | Curva  | Tape <sub>51N</sub> | Tape <sub>50N</sub> | Dial |
|------|---------|--------|---------------------|---------------------|------|
| R3.1 | 51N/50N | URPENI | 1,1493              | 3,125               | 0,7  |

### 7.3 – Caso relés de fase R3.2; R1.2; R1.1; R1.

➤ Relé R3.2;

As informações relevantes para este caso são:

$$I_n = 183,7A$$

$$RTC = 400/5$$

$$I_{cc} = 6938A$$

$$I_{pickup-fase} = 1,2 \times I_n = 1,2 \times 183,7A = 220,44A$$

$$Tape_{51} = \frac{220,44}{400/5} = 2,755A$$

$$Tape_{50} = \frac{I_{cc}}{RTC} = \frac{2000}{400/5} = 25A$$

Na figura 20 é possível ver o coordenograma do relé R3.2 e os dados de parametrização na tabela 14 contendo os dados utilizados no relé.

Figura 20 - Coordenograma relé R3.2; R1.2; R1.1; R1.

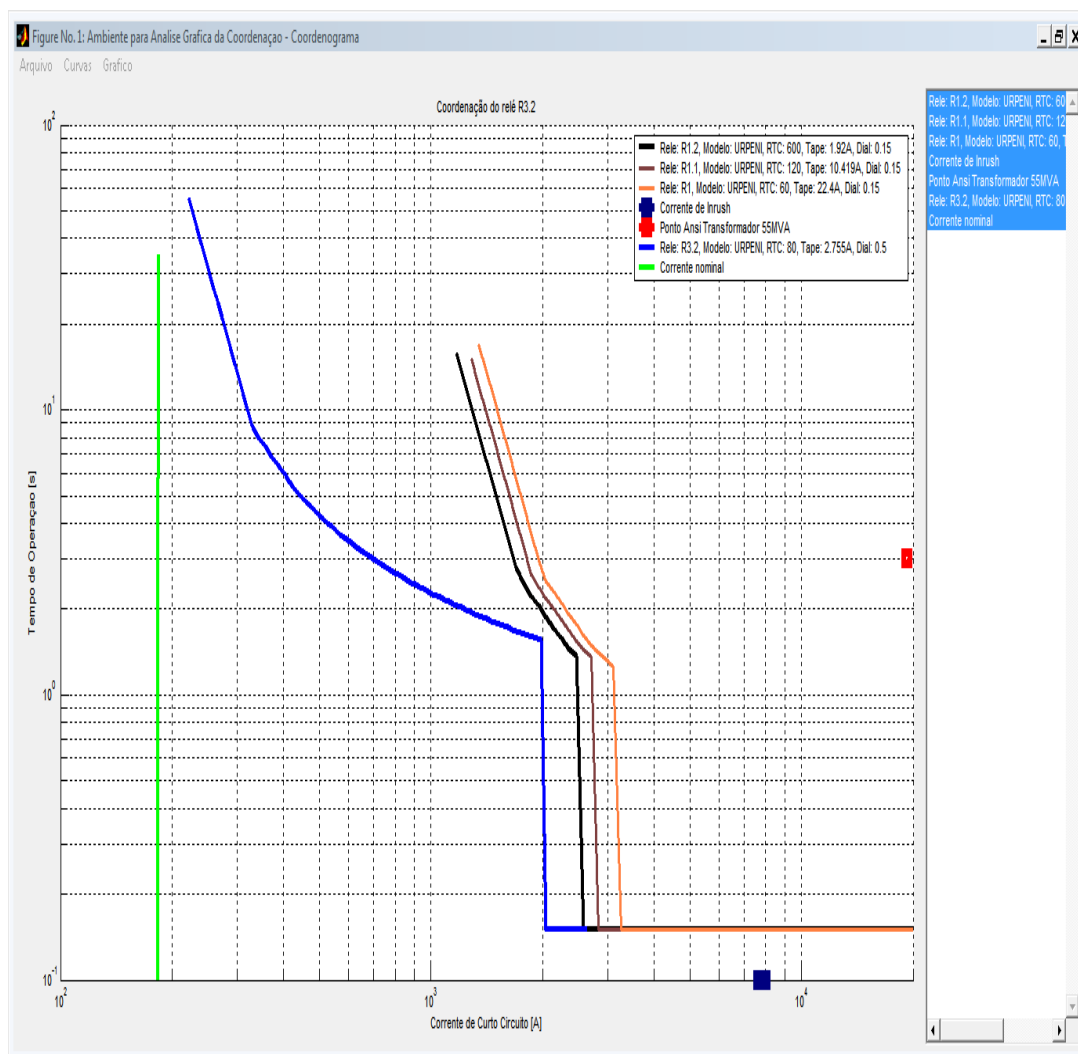


Tabela 14 – Dados de parametrização do relé R3.2.

| Relé | Função | Curva  | Tape <sub>51</sub> | Tape <sub>50</sub> | Dial |
|------|--------|--------|--------------------|--------------------|------|
| R3.2 | 51/50  | URPENI | 2,75A              | 25A                | 0,5  |

### 7.3.1 – Caso relés de neutro R3.2; R1.2; R1.1; R1.

➤ Relé R3.2;

As informações relevantes para este caso são:

$$I_{\text{pickup-fase}} = 220,44\text{A}$$

$$RTC = 400/5$$

$$I_{cc} = 2000\text{A}$$

$$I_{\text{pickupN}} = 0,25 \times 220,44 = 55,11\text{A}$$

$$\text{Tape}_{51\text{N}} = \frac{55,11}{400/5} = 0,6888\text{A}$$

$$I_{cc_{50\text{N}}} = 0,25 \times 2000 = 500\text{A}$$

$$\text{Tape}_{50\text{N}} = \frac{500}{400/5}$$

$$\text{Tape}_{50\text{N}} = 6,25\text{A}$$

Figura 21 - Coordenograma relé de neutro R3.2; R1.2; R1.1; R1.

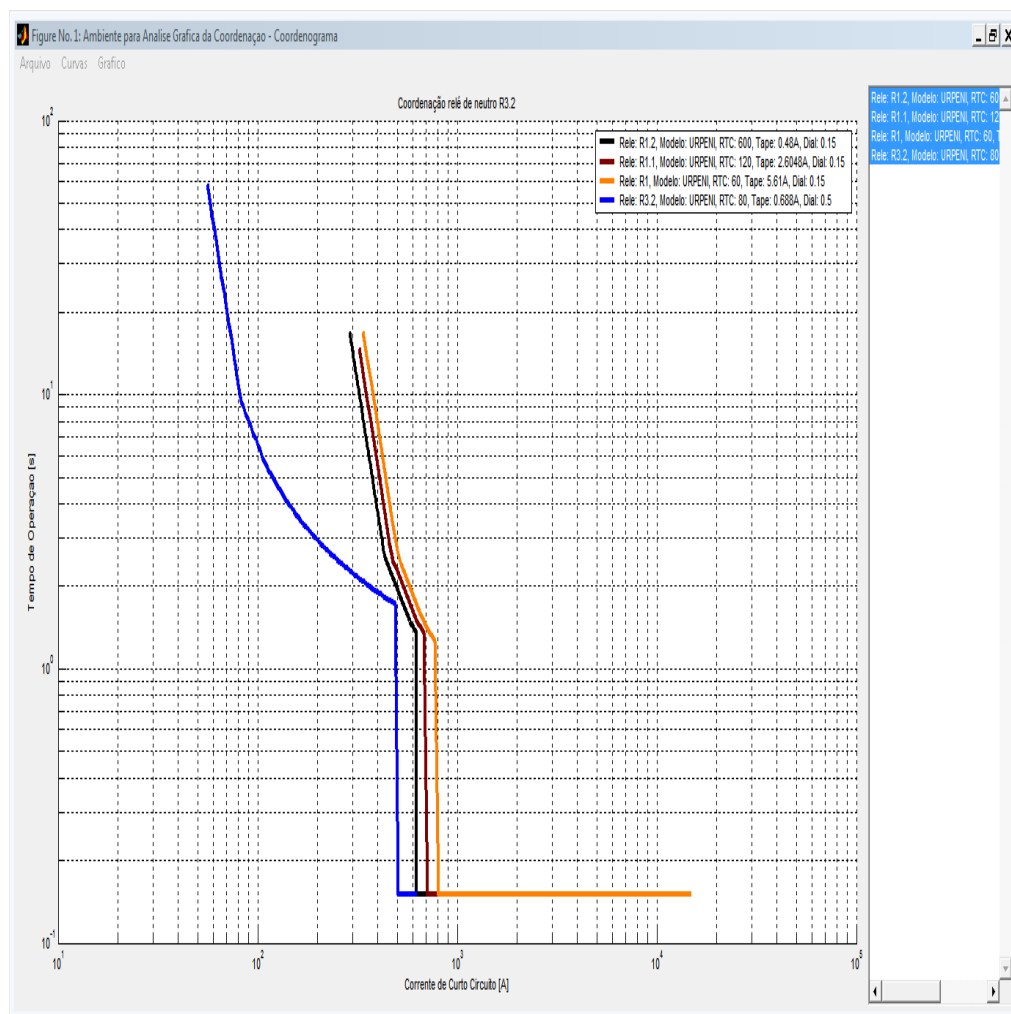


Tabela 15 – Dados de parametrização relé de neutro R3.2.

| Relé | Curva   | Curva  | Tape <sub>51N</sub> | Tape <sub>50N</sub> | Dial |
|------|---------|--------|---------------------|---------------------|------|
| R3.2 | 51N/50N | URPENI | 0,6888              | 6,25                | 0,5  |

#### 7.4 – Caso relés de fase R3.3; R1.2; R1.1; R1.

➤ Relé R3.3;

As informações relevantes para este caso são:

$$I_n = 258,93A$$

$$RTC = 400/5$$

$$I_{cc} = 6938A$$

$$I_{pickup-fase} = 1,2 \times I_n = 1,2 \times 258,93A = 310,71A$$

$$Tape_{51} = \frac{310,71}{400/5} = 3,88A$$

$$Tape_{50} = \frac{I_{cc}}{RTC} = \frac{2000}{400/5} = 25A$$

Figura 22 - Coordenograma relé R3.3; R1.2; R1.1; R1

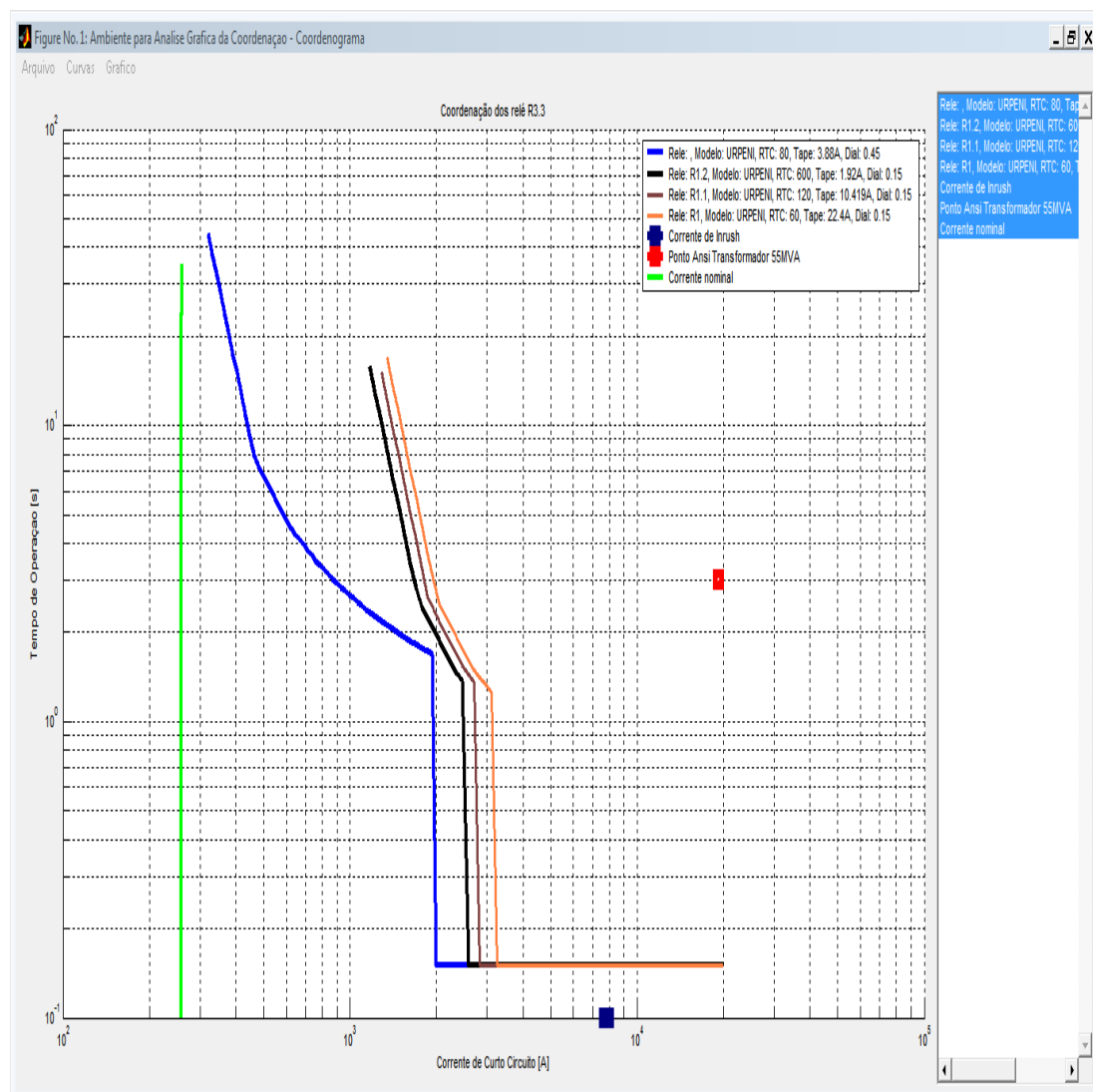


Tabela 16 – Dados de parametrização relé de fase R3.3.

| Relé | Função | Curva  | Tape <sub>51</sub> | Tape <sub>50</sub> | Dial |
|------|--------|--------|--------------------|--------------------|------|
| R3.3 | 51/50  | URPENI | 3,88               | 25                 | 0,45 |

#### 7.4.1 - Caso relés de neutro R3.3; R1.2; R1.1; R1.

➤ Relé R3.3;

As informações importantes para este caso são:

$$I_{\text{pickup-fase}} = 310,71\text{A}$$

$$RTC = 400/5$$

$$I_{cc} = 2000\text{A}$$

$$I_{\text{pickupN}} = 0,25 \times 310,71 = 77,67\text{A}$$

$$\text{Tape}_{51\text{N}} = \frac{77,67}{400/5} = 0,9709\text{A}$$

$$I_{cc_{50\text{N}}} = 0,25 \times 2000 = 500\text{A}$$

$$\text{Tape}_{50\text{N}} = \frac{500}{400/5}$$

$$\text{Tape}_{50\text{N}} = 6,25\text{A}$$

Figura 23 - Coordenograma relé de neutro R3.3; R1.2; R1.1; R1.

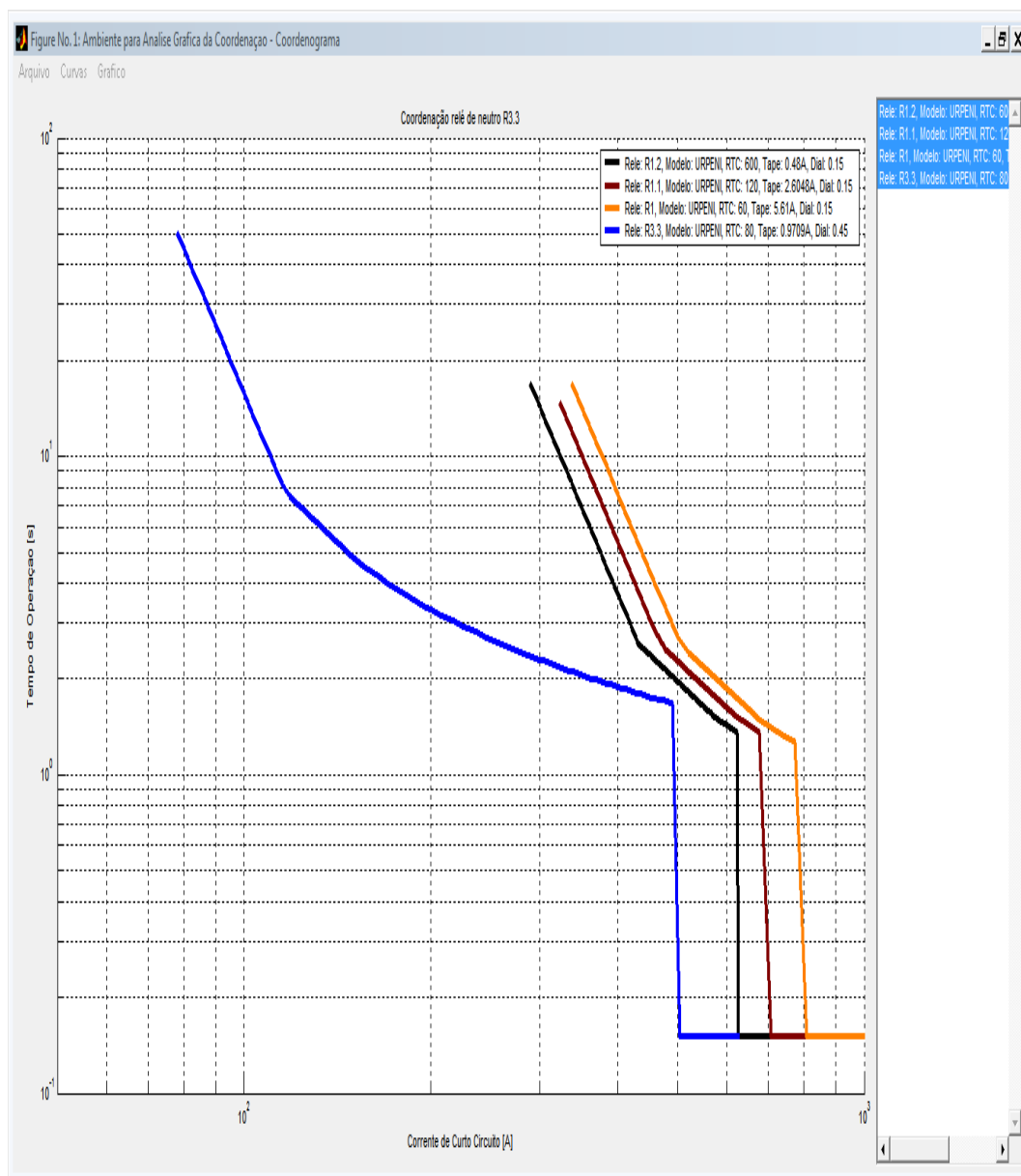


Tabela 17 – Dados de parametrização relé de neutro R3.3.

| Relé | Função  | Curva  | Tape <sub>51N</sub> | Tape <sub>50N</sub> | Dial |
|------|---------|--------|---------------------|---------------------|------|
| R3.3 | 51N/50N | URPENI | 0,9709              | 6,25                | 0,45 |

## 7.5 – Caso relés de fase R3.4; R1.2; R1.1; R1.

➤ Relé R3.4;

As informações relevantes para este caso são:

$$I_n = 267,68A$$

$$RTC = 400/5$$

$$I_{cc} = 6938A$$

$$I_{pickup-fase} = 1,2 \times I_n = 1,2 \times 267,68A = 321,21A$$

$$Tape_{51} = \frac{321,21}{400/5} = 4,015A$$

$$Tape_{50} = \frac{I_{cc}}{RTC} = \frac{2000}{400/5} = 25A$$

Figura 24 - Coordenograma relé R3.4; R1.2; R1.1; R1.

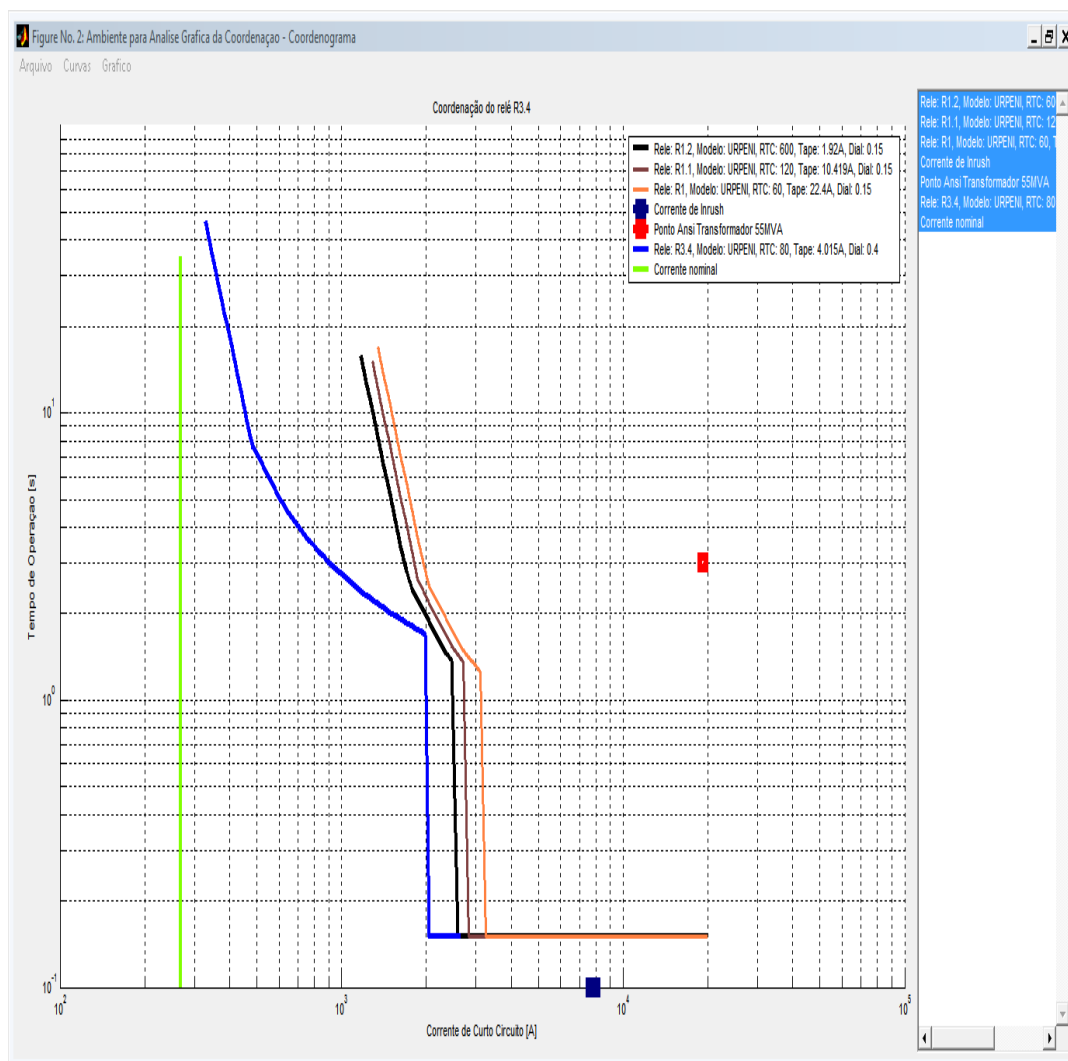


Tabela 18 – Dados de parametrização relé de fase R3.4.

| Relé | Função | Curva  | Tape <sub>51</sub> | Tape <sub>50</sub> | Dial |
|------|--------|--------|--------------------|--------------------|------|
| R3.4 | 51/50  | URPENI | 4,015              | 25                 | 0,4  |

### 7.5.1 – Caso relés de neutro R3.4; R1.2; R1.1; R1.

#### ➤ Relé R3.4;

As informações relevantes para este caso são:

$$I_{\text{pickup-fase}} = 321,21\text{A}$$

$$RTC = 400/5$$

$$I_{cc} = 2000\text{A}$$

$$I_{\text{pickupN}} = 0,25 \times 321,21 = 80,3\text{A}$$

$$\text{Tape}_{51\text{N}} = \frac{80,3}{400/5} = 1,00378$$

$$I_{cc_{50\text{N}}} = 0,25 \times 2000 = 500\text{A}$$

$$\text{Tape}_{50\text{N}} = \frac{500}{400/5}$$

$$\text{Tape}_{50\text{N}} = 6,25\text{A}$$

Figura 25 - Coordenograma relé de neutro R3.4; R1.2; R1.1; R1.

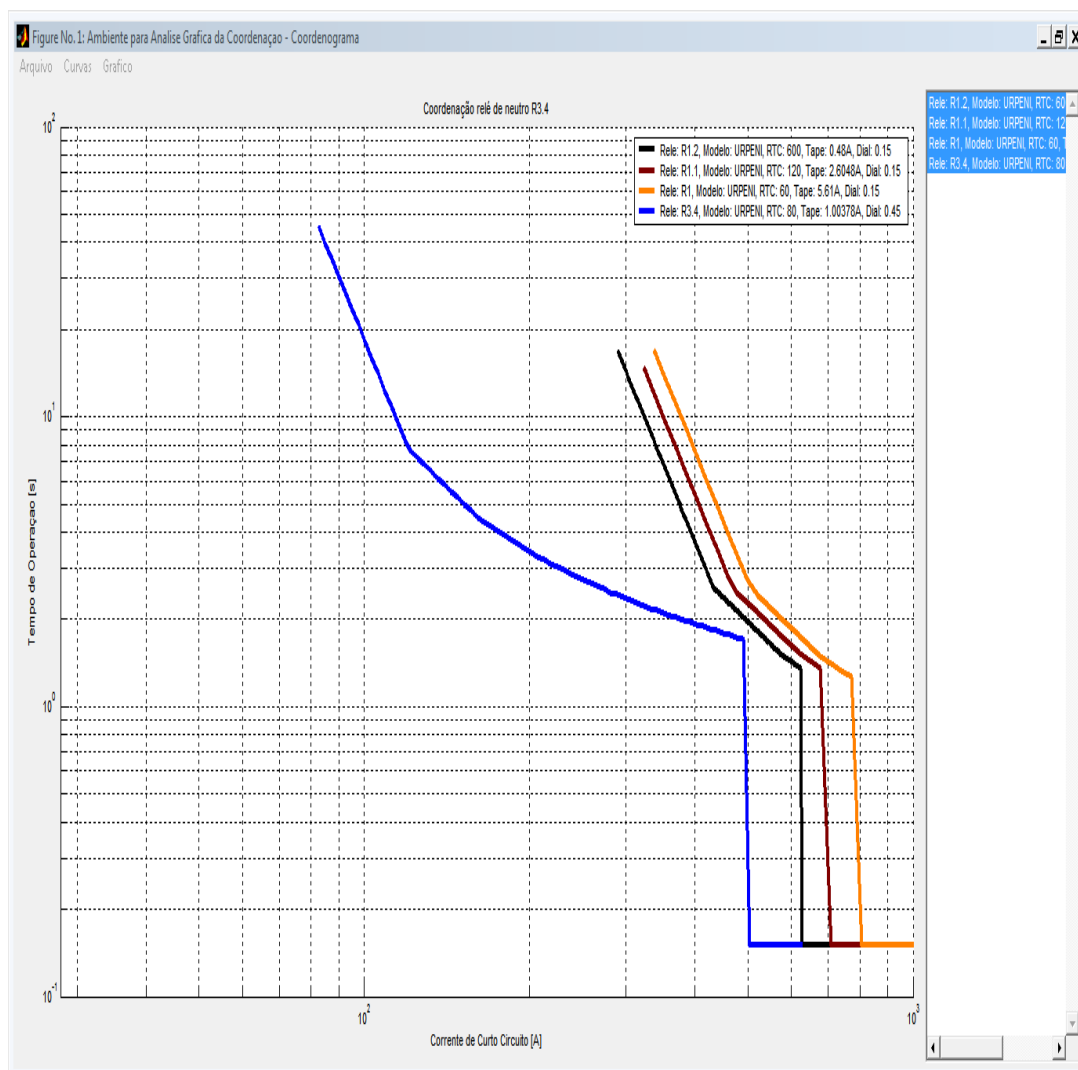


Tabela 19 – Dados de parametrização relé de neutro R3.4.

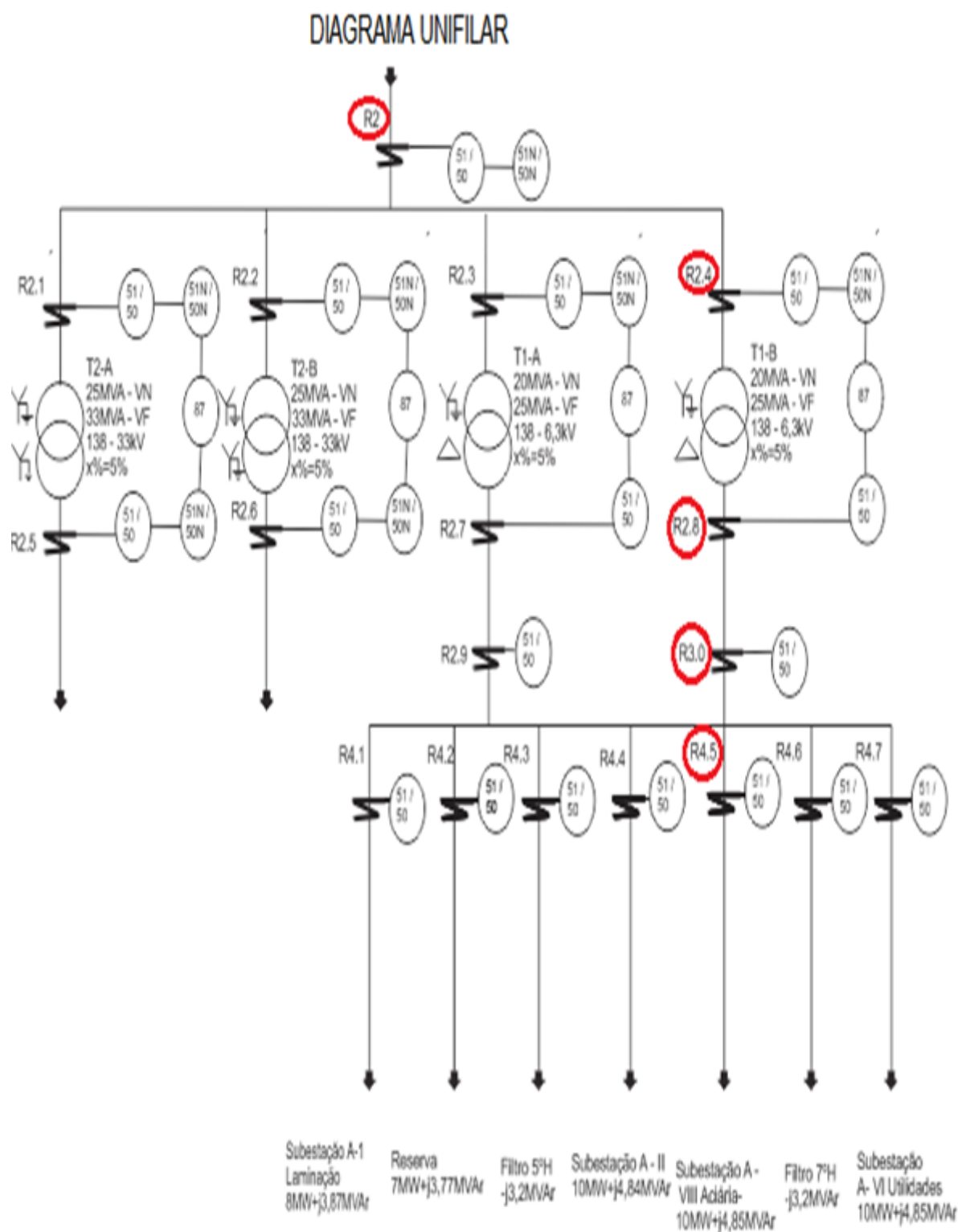
| Relé | Função  | Curva  | Tape <sub>51N</sub> | Tape <sub>50</sub> | Dial |
|------|---------|--------|---------------------|--------------------|------|
| R3.4 | 51N/50N | URPENI | 1,00378             | 6,25               | 0,45 |

## **8.0 Ajustes e coordenação do ramal 2.**

Para este segundo ramal como pode ser visto no diagrama unifilar simplificado na figura 26, há-se a preocupação com os relés de fase bem como os relés de neutro. Visto que a maioria das cargas do ramal dois se encontra conectados na ligação delta, nestes pontos específicos serão montados os coordenogramas apenas de fase. Os coordenogramas de neutro serão montados apenas nos transformadores de chegada da instalação.

Assim como na seção anterior, seguindo o critério de maior carga para coordenação, os coordenogramas relativo às cargas em delta serão construídos na tensão de 6,3kV e o restante serão montados em 138kV.

Figura 26 - Diagrama unifilar simplificado ramal dois.



### 8.1 – Caso relés de fase R4.5; R3.0; R2.8; R2.4; R2.

#### ➤ Relé R4.5;

As informações importantes para este caso são:

$$I_n = 1018,52A$$

$$RTC = 3000/5$$

$$I_{cc} = 25450A$$

A corrente de pick-up pode ser calculada de acordo com a equação (6.2.0), dessa maneira temos:

$$I_{pickup-fase} = 1,1 \times 1018,52A = 1120,37A$$

$$Tape_{51} = \frac{1120,37}{3000/5} = 1,867A$$

Para a função 50, estipula-se a corrente de curto  $I_{cc} = 5000A$  e segue-se a equação (6.2.5) temos:

$$Tape_{50} = \frac{I_{cc}}{RTC} = \frac{5000}{3000/5} = 8,33A$$

#### ➤ Relé R3.0;

Para este relé é importante ressaltar que sua funcionalidade é atuar como re-taguarda dos relés R4.5, R4.6, R4.7 e suas informações relevantes para este caso são:

$$I_n = 1832,85A$$

$$RTC = 3000/5$$

$$I_{cc} = 12693A$$

A corrente de pick-up conforme equação (6.2.0) tem-se:

$$I_{\text{pickup-fase}} = 1,1 \times 1832,85\text{A} = 2016,14\text{A}$$

$$\text{Tape}_{51} = \frac{2016,14}{3000/5} = 3,36\text{A}$$

Para a função 50, adota-se a corrente de curto  $I_{cc} = 8000\text{A}$  e de acordo com a equação (6.2.5) temos:

$$\text{Tape}_{50} = \frac{I_{cc}}{RTC} = \frac{8000}{3000/5} = 13,33\text{A}$$

➤ Relé R2.8;

As informações relevantes para este caso são:

$$I_n = 1832,85\text{A}$$

$$RTC = 3000/5$$

$$I_{cc} = 12693\text{A}$$

$$I_{\text{pickup-fase}} = 1,2 \times 1832,85\text{A} = 2199,42\text{A}$$

$$\text{Tape}_{51} = \frac{2199,42}{3000/5} = 3,6657\text{A}$$

Para a função 50, deseja-se que a corrente de atuação seja  $I_{cc} = 10000\text{A}$ .

$$\text{Tape}_{50} = \frac{I_{cc}}{RTC} = \frac{10000}{3000/5} = 16,66\text{A}$$

➤ Relé R2.4;

As informações relevantes para este caso são:

$$I_n = 83,67\text{A}$$

$$RTC = 200/5$$

$$I_{cc} = 1880\text{A}$$

$$I_{\text{pickup-fase}} = 1,3 \times I_n$$

$$I_{\text{pickup-fase}} = 1,3 \times 83,67\text{A} = 108,77\text{A}$$

$$\text{Tape}_{51} = \frac{108,77}{200/5} = 2,7192\text{A}$$

Para a função 50, será adotado como corrente de curto  $I_{cc} = 915\text{A}$ , portanto:

$$\text{Tape}_{50} = \frac{I_{cc}}{RTC} = \frac{915}{200/5} = 22,87\text{A}$$

Assim como o relé R1.2 da seção anterior, o relé R2.4 também deve permitir a passagem da corrente de inrush do transformador T1-B e fornecer a proteção necessária ao ponto ansi e, portanto, estes pontos deverão ser inseridos no coordenograma.

Para a corrente de inrush do transformador T1-B, de acordo com a tabela 8 temos:

$$I_{\text{inrush}} = 8 \times I_{\text{nominal}}$$

$$I_{\text{inrush}} = 8 \times 83,67 = 669,36\text{A}$$

No que se refere ao ponto ansi do transformador de acordo com a tabela 7 temos:

$$I_{\text{ansi}} = 20 \times 83,67 = 1673,4\text{A}$$

De posse desses valores calculados, uma ressalva a ser realizada que consiste na conversão dos valores encontrados na alta tensão para a média tensão. Portanto, segue abaixo a conversão dos valores a 6,3kV.

$$I_n = 83,67A \times 138/6,3 = 1832,77A$$

$$Tape_{51} = 2,7192A \times 138/6,3 = 59,56A$$

$$Tape_{50} = 22,87 \times 138/6,3 = 500,96A$$

$$I_{inrush} = 669,36A \times 138/6,3 = 14662,17A$$

$$I_{ansi} = 1673,4A \times 138/6,3 = 36655,42A$$

➤ Relé R2;

Este relé se encontra alocado na entrada do segundo ramal da instalação, ou seja, se atribui a ele a monitorar uma das entradas de toda a indústria. Este relé é responsável de ser a última proteção caso ocorra uma falta. Para este caso deve-se inicialmente fazer o levantamento da corrente nominal, portanto de acordo com a tabela 4 tem-se:

$$I_{total} = I_{T1-A} + I_{T1-B} + I_{T2-A} + I_{T2-B}$$

$$I_{total} = 83,67 + 83,67 + 104,59 + 104,59$$

$$I_{total} = I_n = 376,52A$$

Como é possível perceber, a corrente nominal foi encontrada de acordo com a soma algébrica das correntes nominais de cada transformador, isto implica em uma superestimação do módulo da corrente total. De acordo com essa premissa, permite-se uma sobrecarga de 30% no segundo ramal. Portanto os valores relevantes da localidade deste relé são:

$$I_n = 376,52A$$

$$RTC = 400/5$$

$$I_{cc} = 1395A$$

$$I_{pickup-fase} = 1,3 \times 376,52A = 489,47A$$

$$Tape_{51} = \frac{489,47}{400/5} = 6,11A$$

Para a função 50, adota-se como corrente de curto  $I_{cc} = 1195A$ .

$$Tape_{50} = \frac{I_{cc}}{RTC} = \frac{1195}{400/5} = 14,93A$$

De posse desses valores calculados, segue-se a conversão dos valores à tensão 6,3kV.

$$I_n = 376,52A \times 138/6,3 = 8247,58A$$

$$I_{pickup} = 489,47 \times 138/6,3 = 10711,42A$$

$$Tape_{51} = 6,11A \times 138/6,3 = 133,83A$$

$$Tape_{50} = 14,93 \times 138/6,3 = 327,03A$$

Figura 27 - Coordenograma relés R4.5; R3.0; R2.8; R2.4; R2.

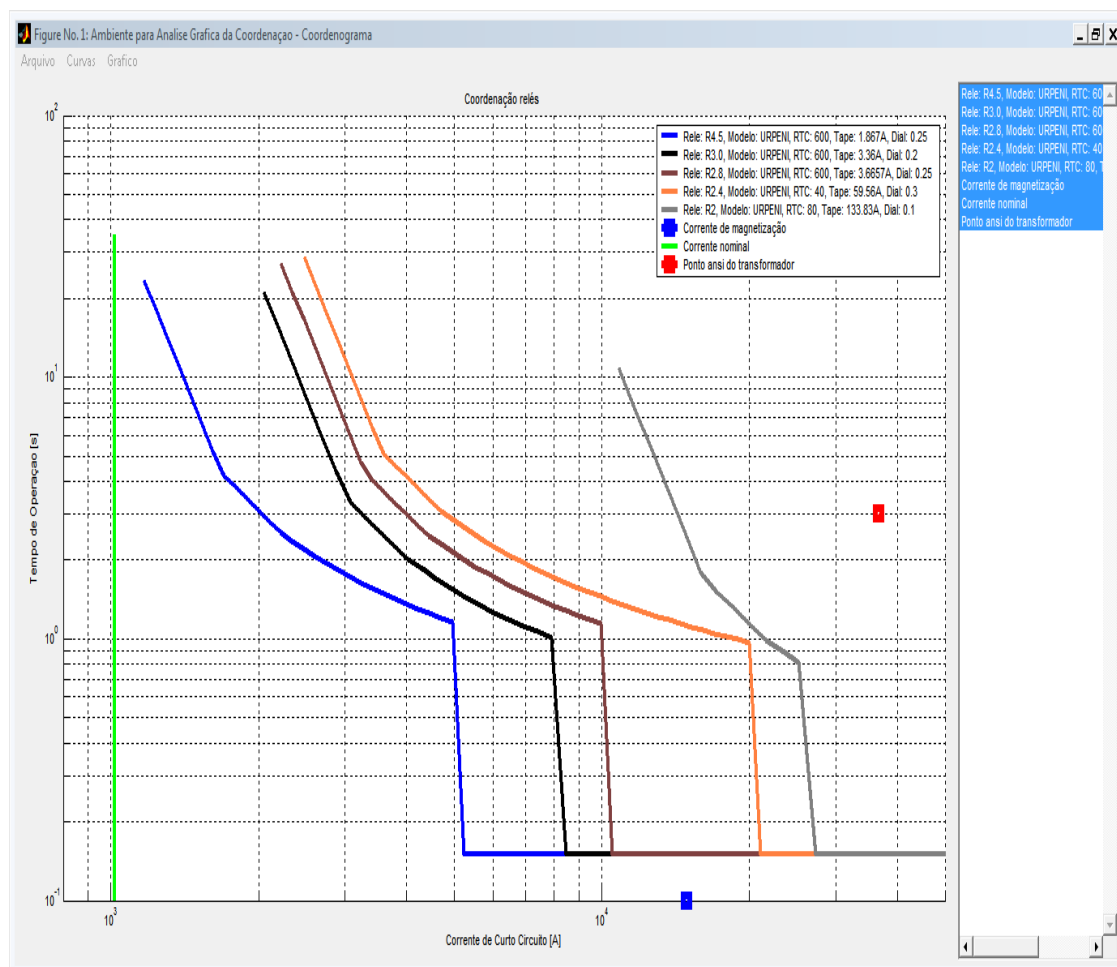


Tabela 20 – Dados de parametrização relés R4.5; R3.0; R2.8; R2.4; R2.

| Relé | Função | Curva  | Tape <sub>51</sub> | Tape <sub>50</sub> | Dial |
|------|--------|--------|--------------------|--------------------|------|
| R4.5 | 51/50  | URPENI | 1,867              | 12,5               | 0,3  |
| R3.0 | 51/50  | URPENI | 3,36               | 13,33              | 0,2  |
| R2.8 | 51/50  | URPENI | 3,6657             | 16,66              | 0,25 |
| R2.4 | 51/50  | URPENI | 59,56              | 500,96             | 0,3  |
| R2   | 51/50  | URPENI | 133,83             | 327,03             | 0,1  |

## 8.2 – Caso relés de fase R4.6; R3.0; R2.8; R2.4; R2.

Os dados relevantes para este caso são:

$$I_n = 293,25A$$

$$RTC = 3000/5$$

$$I_{cc} = 25450A$$

$$I_{pickup-fase} = 1,1 \times 293,25 = 322,58A$$

$$Tape_{51} = \frac{322,58}{3000/5} = 0,5376A$$

$$Tape_{50} = \frac{I_{cc}}{RTC} = \frac{5000}{3000/5} = 8,33A$$

Figura 28 - Coordenograma relés R4.6; R3.0; R2.8; R2.4; R2.

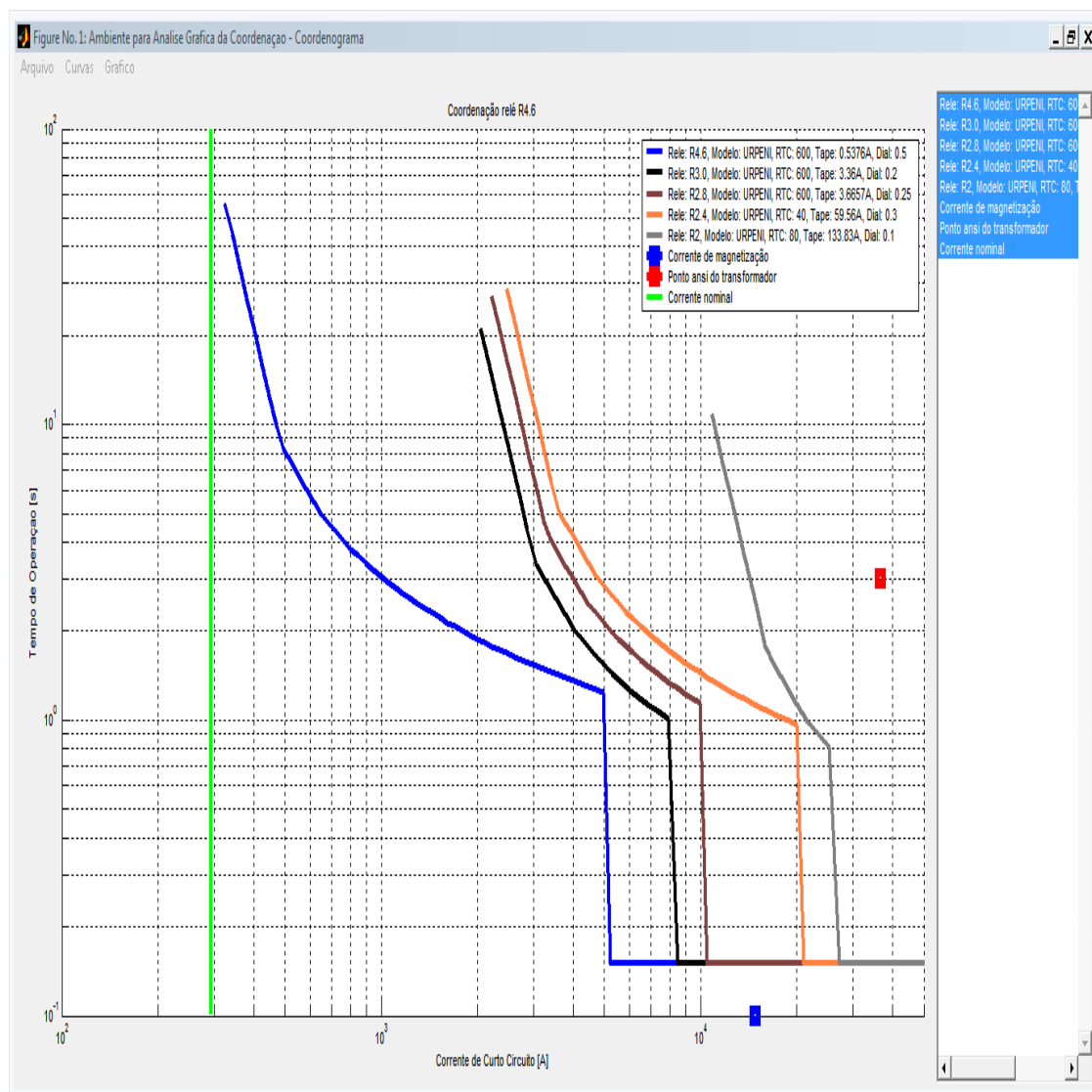


Tabela 21 – Dados de parametrização relé R4.6.

| Relé | Função | Curva  | Tape <sub>51</sub> | Tape <sub>50</sub> | Dial |
|------|--------|--------|--------------------|--------------------|------|
| R4.6 | 51/50  | URPENI | 0,5376             | 8,33               | 0,5  |

### 8.3 – Caso relés de fase R4.7; R3.0; R2.8; R2.4; R2.

As informações relevantes para este caso são:

$$I_n = 1018,52A$$

$$RTC = 3000/5$$

$$I_{cc} = 25450A$$

$$I_{pickup-fase} = 1,1 \times 1018,52A = 1120,37A$$

$$Tape_{51} = \frac{1120,37}{3000/5} = 1,867A$$

$$Tape_{50} = \frac{I_{cc}}{RTC} = \frac{5000}{3000/5} = 8,33A$$

Figura 29 - Coordenograma relés R4.7; R3.0; R2.8; R2.4; R2.

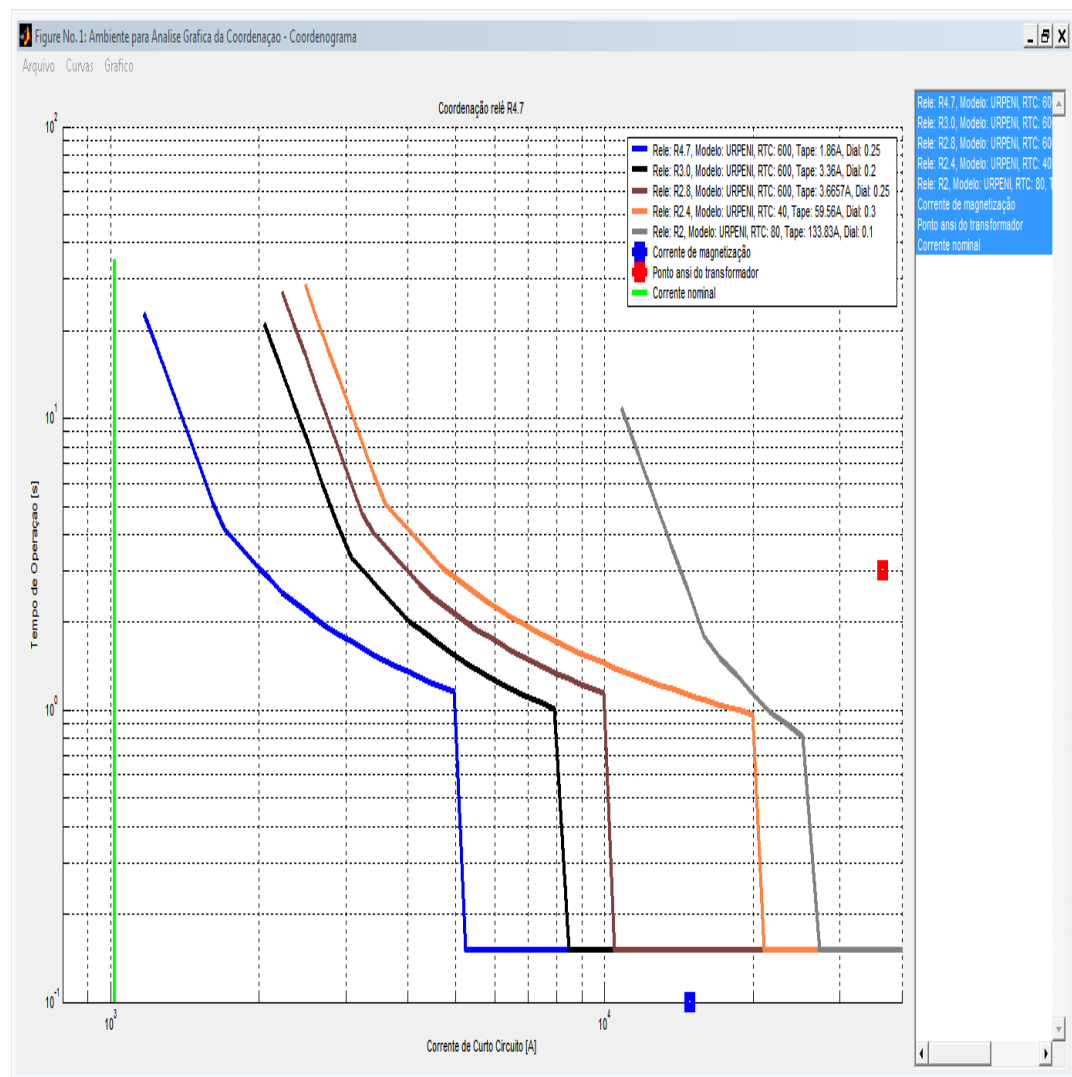


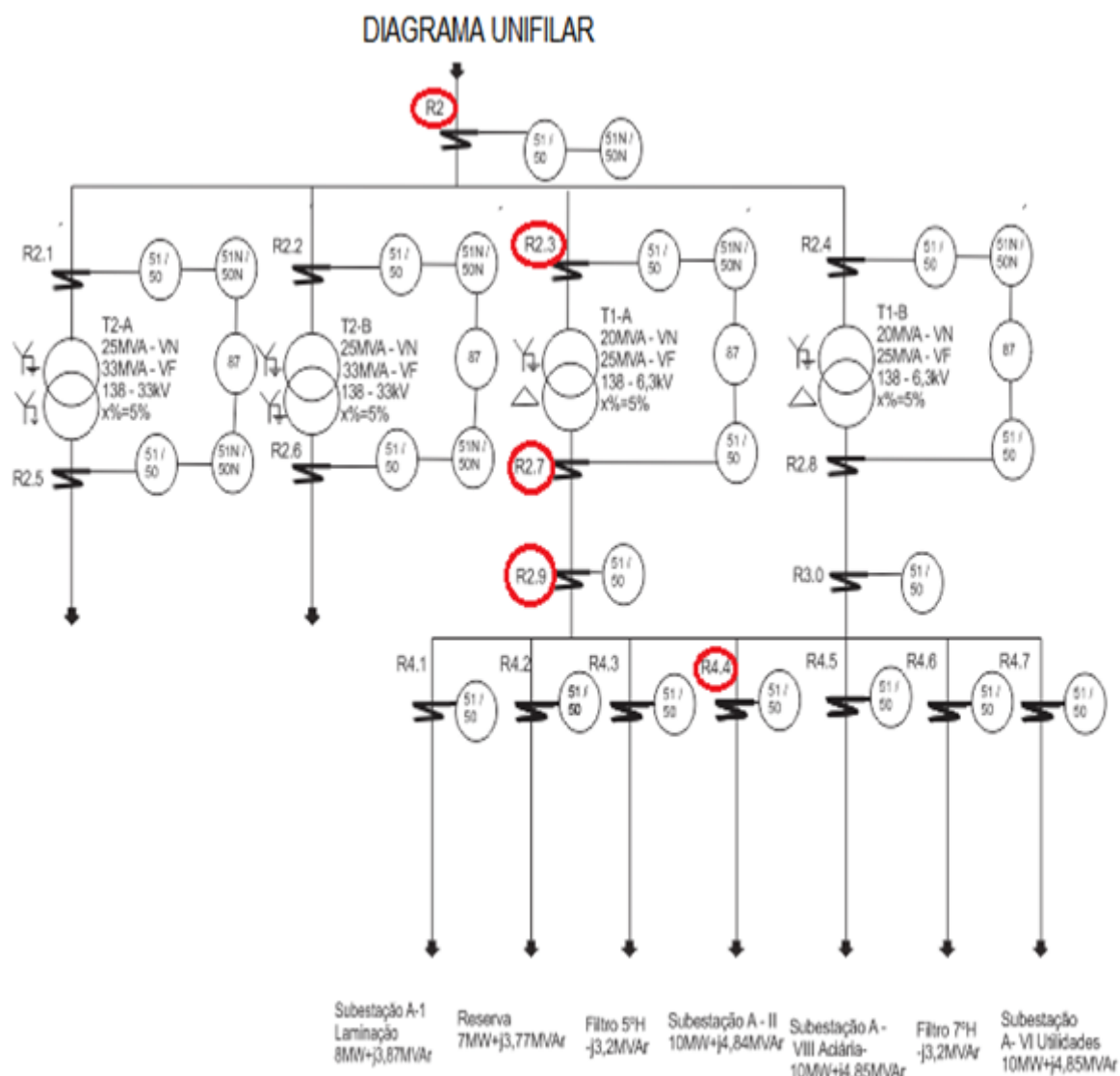
Tabela 22 - Dados de parametrização relé R4.7.

| Relé | Função | Curva  | Tape <sub>51</sub> | Tape <sub>50</sub> | Dial |
|------|--------|--------|--------------------|--------------------|------|
| R4.7 | 51/50  | URPENI | 1,867              | 8,33               | 0,25 |

#### 8.4 - Caso relés de fase R4.4; R2.9; R2.7; R2.3; R2.

Assim como a subseção 8.1, devido as características dos transformadores, relés, este muito se assemelha com o caso de coordenação R4.5; R3.0; R2.8; R2.4; R2. Portanto, para esta subseção será o mesmo raciocínio, apresentando apenas o passo a passo, coordenograma e tabela de parametrização. Para melhor visualização deste caso a figura 31 que possui o diagrama unifilar simplificado.

Figura 30 - Diagrama unifilar simplificado caso R4.4.



➤ Relé R4.4;

Para este caso as informações relevantes são:

$$I_n = 1018,52A$$

$$RTC = 3000/5$$

$$I_{cc} = 25450A$$

$$I_{pickup-fase} = 1,1 \times 1018,52A = 1120,37A$$

$$Tape_{51} = \frac{1120,37}{3000/5} = 1,867A$$

$$Tape_{50} = \frac{I_{cc}}{RTC} = \frac{5000}{3000/5} = 8,33A$$

➤ Relé R2.9;

Para este relé é importante ressaltar que sua funcionalidade é atuar como re-taguarda dos relés R4.1, R4.2, R4.3, R4.4 e suas informações relevantes para este caso são:

$$I_n = 1832,85A$$

$$RTC = 3000/5$$

$$I_{cc} = 12693A$$

$$I_{pickup-fase} = 1,1 \times 1832,85A = 2016,14A$$

$$Tape_{51} = \frac{2016,85}{3000/5} = 3,36A$$

$$Tape_{50} = \frac{I_{cc}}{RTC} = \frac{8000}{3000/5} = 13,33A$$

➤ Relé R2.7;

As informações relevantes para este caso são:

$$I_n = 1832,85A$$

$$RTC = 3000/5$$

$$I_{cc} = 12695A$$

$$I_{pickup-fase} = 1,2 \times I_n = 1,2 \times 1832,85A = 2199,42A$$

$$Tape_{51} = \frac{2199,42}{3000/5} = 3,6657A$$

$$Tape_{50} = \frac{I_{cc}}{RTC} = \frac{10000}{3000/5} = 16,66A$$

➤ Relé R2.3;

As informações relevantes para este caso são:

$$I_n = 83,67A$$

$$RTC = 200/5$$

$$I_{cc} = 1880A$$

$$I_{pickup-fase} = 1,3 \times I_n = 1,3 \times 83,67A = 108,77A$$

$$Tape_{51} = \frac{108,77}{200/5} = 2,7192A$$

$$Tape_{50} = \frac{I_{cc}}{RTC} = \frac{915}{200/5} = 22,87A$$

Assim como o relé R2.4 da seção anterior, o relé R2.3 também deve permitir a passagem da corrente de inrush do transformador T1-A e fornecer a proteção necessária ao ponto ansi e, portanto, estes pontos deverão ser inseridos no coordenograma.

Para a corrente de inrush do transformador T1-A tem-se:

$$I_{inrush} = 8 \times I_{nominal}$$

$$I_{\text{inrush}} = 8 \times 83,67 = 669,36\text{A}$$

De acordo com a tabela 7, o ponto ansi do transformador tem-se:

$$I_{\text{ansi}} = 20 \times 83,67 = 1673,4\text{A}$$

De posse desses valores calculados, uma ressalva a ser realizada que consiste na conversão dos valores encontrados na alta tensão para a média tensão. Portanto, segue abaixo a conversão dos valores para 6,3kV.

$$I_n = 83,67\text{A} \times 138/6,3 = 1832,77\text{A}$$

$$\text{Tape}_{51} = 2,7192\text{A} \times 138/6,3 = 59,56\text{A}$$

$$\text{Tape}_{50} = 22,87 \times 138/6,3 = 500,96\text{A}$$

Figura 31 - Coordenograma relés R4.4; R2.9; R2.7; R2.3; R2.

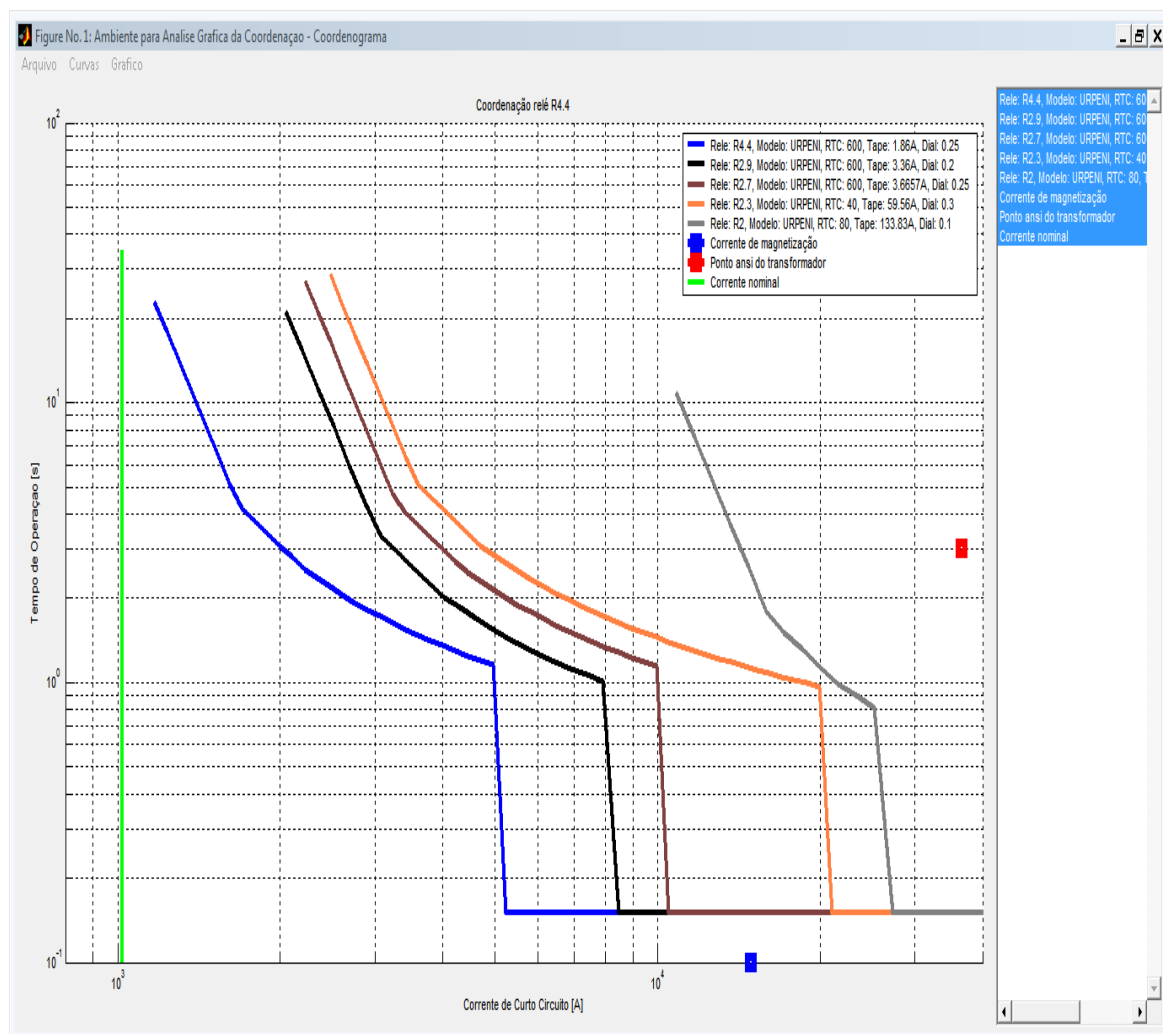


Tabela 23 – Dados de parametrização relés R4.4; R2.9; R2.7; R2.3

| Relé | Função | Curva  | Tape <sub>51</sub> | Tape <sub>50</sub> | Dial |
|------|--------|--------|--------------------|--------------------|------|
| R4.4 | 51/50  | URPENI | 1,867              | 8,33               | 0,3  |
| R2.9 | 51/50  | URPENI | 3,0547             | 13,33              | 0,25 |
| R2.7 | 51/50  | URPENI | 3,6657             | 16,66              | 0,25 |
| R2.3 | 51/50  | URPENI | 59,56              | 500,96             | 0,3  |

### 8.5 – Caso relés de fase R4.1; R2.9; R2.7; R2.3; R2.

➤ Relé R4.1;

As informações relevantes para este caso são:

$$I_n = 814,42\text{A}$$

$$\text{RTC} = 3000/5$$

$$I_{cc} = 25450\text{A}$$

$$I_{\text{pickup-fase}} = 1,1 \times I_n = 1,1 \times 814,42\text{A} = 895,86\text{A}$$

$$\text{Tape}_{51} = \frac{895,86}{3000/5} = 1,4931\text{A}$$

$$\text{Tape}_{50} = \frac{I_{cc}}{\text{RTC}} = \frac{5000}{3000/5} = 8,33\text{A}$$

Figura 32 - Coordenograma relés R4.1; R2.9; R2.7; R2.3; R2.

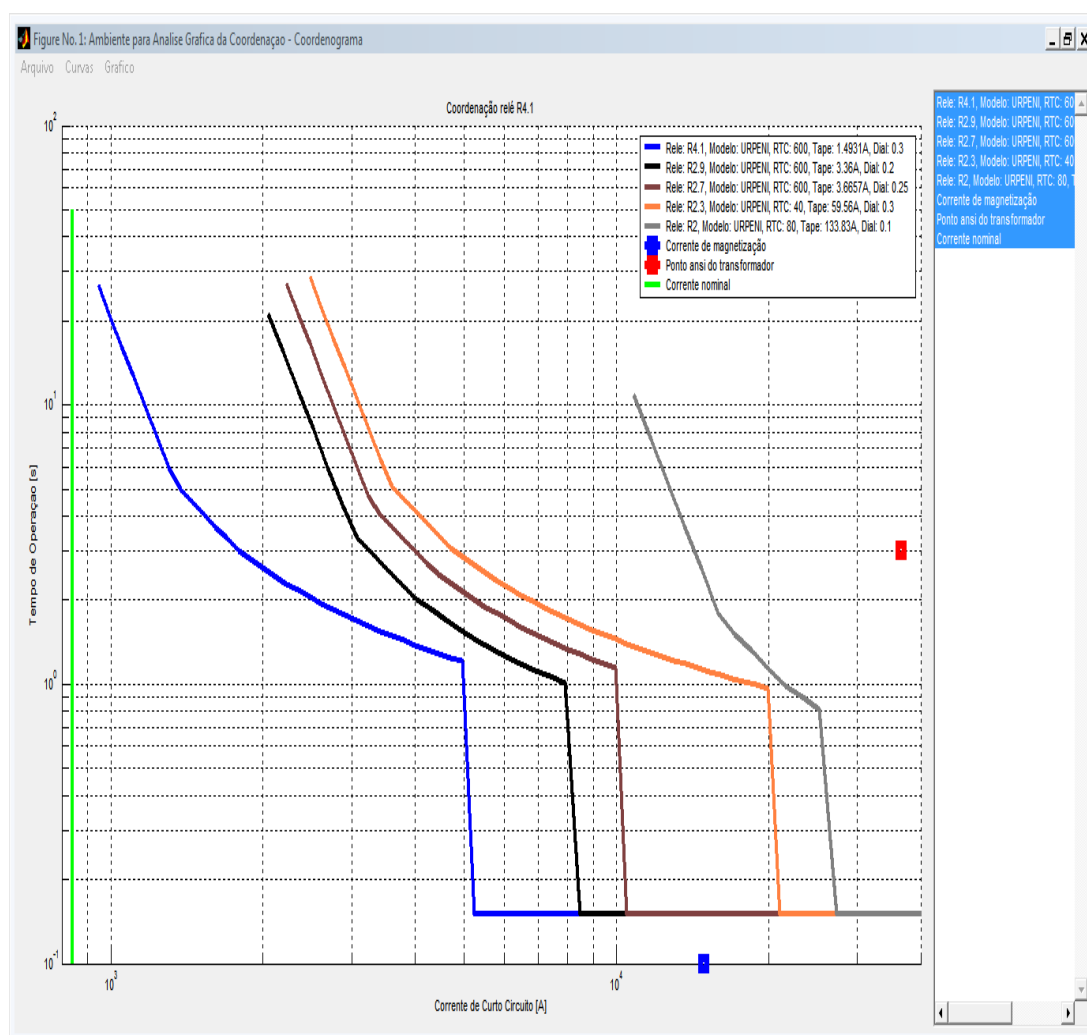


Tabela 24 – Dados de parametrização relés R4.1; R2.9; R2.7; R2.3.

| Relé | Função | Curva  | Tape <sub>51</sub> | Tape <sub>50</sub> | Dial |
|------|--------|--------|--------------------|--------------------|------|
| R4.1 | 51/50  | URPENI | 1,4931             | 8,33               | 0,25 |

## 8.6 – Caso relés de fase R4.2; R2.9; R2.7; R2.3; R2.

➤ Relé R4.2;

As informações relevantes para este caso são:

$$I_n = 728,62A$$

$$RTC = 3000/5$$

$$I_{cc} = 25450A$$

$$I_{pickup-fase} = 1,1 \times I_n = 1,1 \times 728,62A = 801,48A$$

$$Tape_{51} = \frac{801,48}{3000/5} = 1,3358A$$

$$Tape_{50} = \frac{I_{cc}}{RTC} = \frac{5000}{3000/5} = 8,33A$$

Figura 33 - Coordenograma relés R4.2; R2.9; R2.7; R2.3; R2.

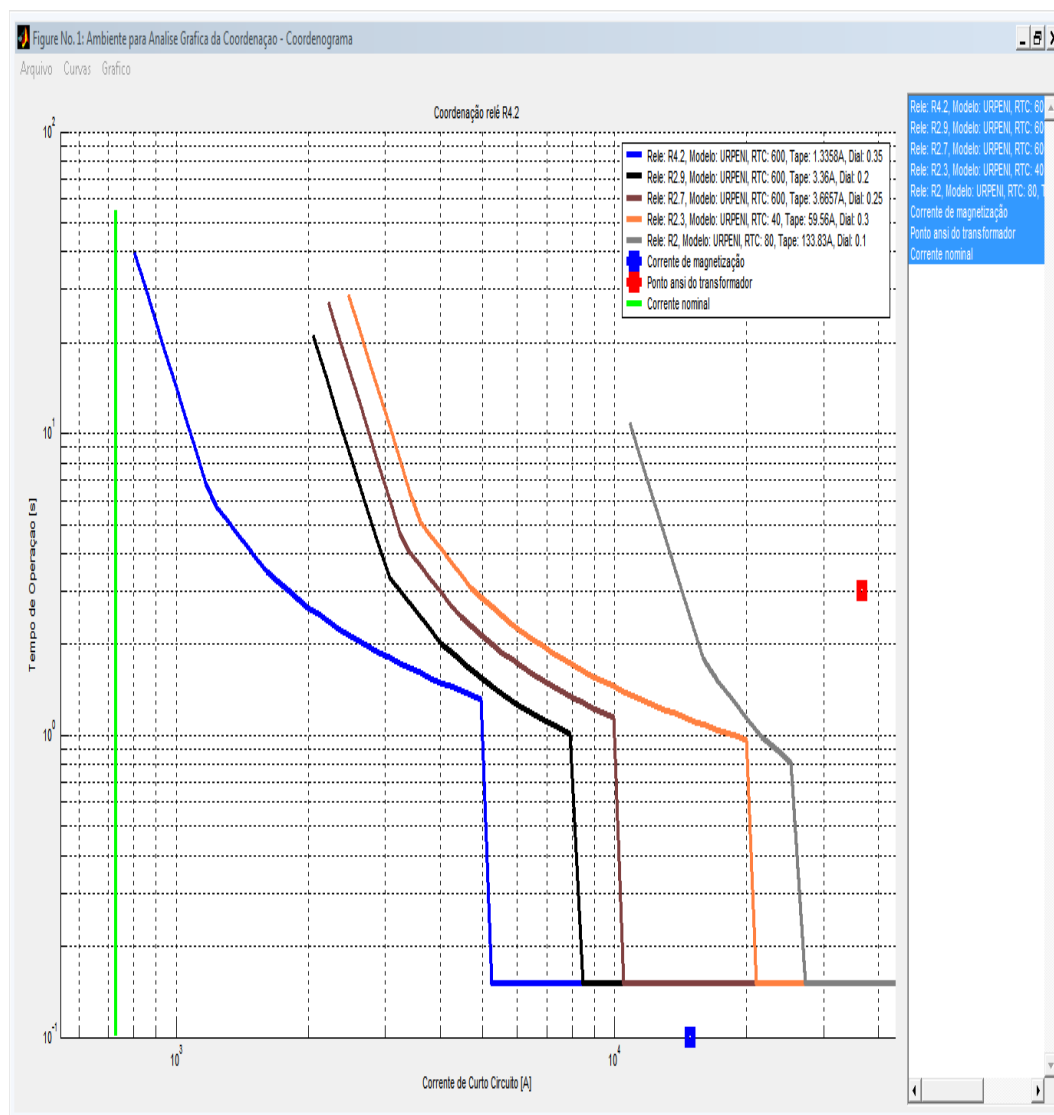


Tabela 25 – Dados de parametrização relés R4.2; R2.9; R2.7; R2.3; R2.

| Relé | Função | Curva  | Tape <sub>51</sub> | Tape <sub>50</sub> | Dial |
|------|--------|--------|--------------------|--------------------|------|
| R4.2 | 51/50  | URPENI | 1,3358             | 8,33               | 0,35 |

### 8.7 – Caso relés de fase R4.3; R2.9; R2.7; R2.3; R2.

#### ➤ Relé R4.3

As informações relevantes para este caso são:

$$I_n = 293,25A$$

$$RTC = 3000/5$$

$$I_{cc} = 25450A$$

$$I_{pickup} = 1,1 \times I_n = 1,1 \times 293,25 = 322,58A$$

$$Tape_{51} = \frac{322,58}{3000/5} = 0,5376A$$

$$Tape_{50} = \frac{I_{cc}}{RTC} = \frac{5000}{3000/5} = 8,33A$$

Figura 34 - Coordenograma relés R4.3; R2.9; R2.7; R2.3; R2.

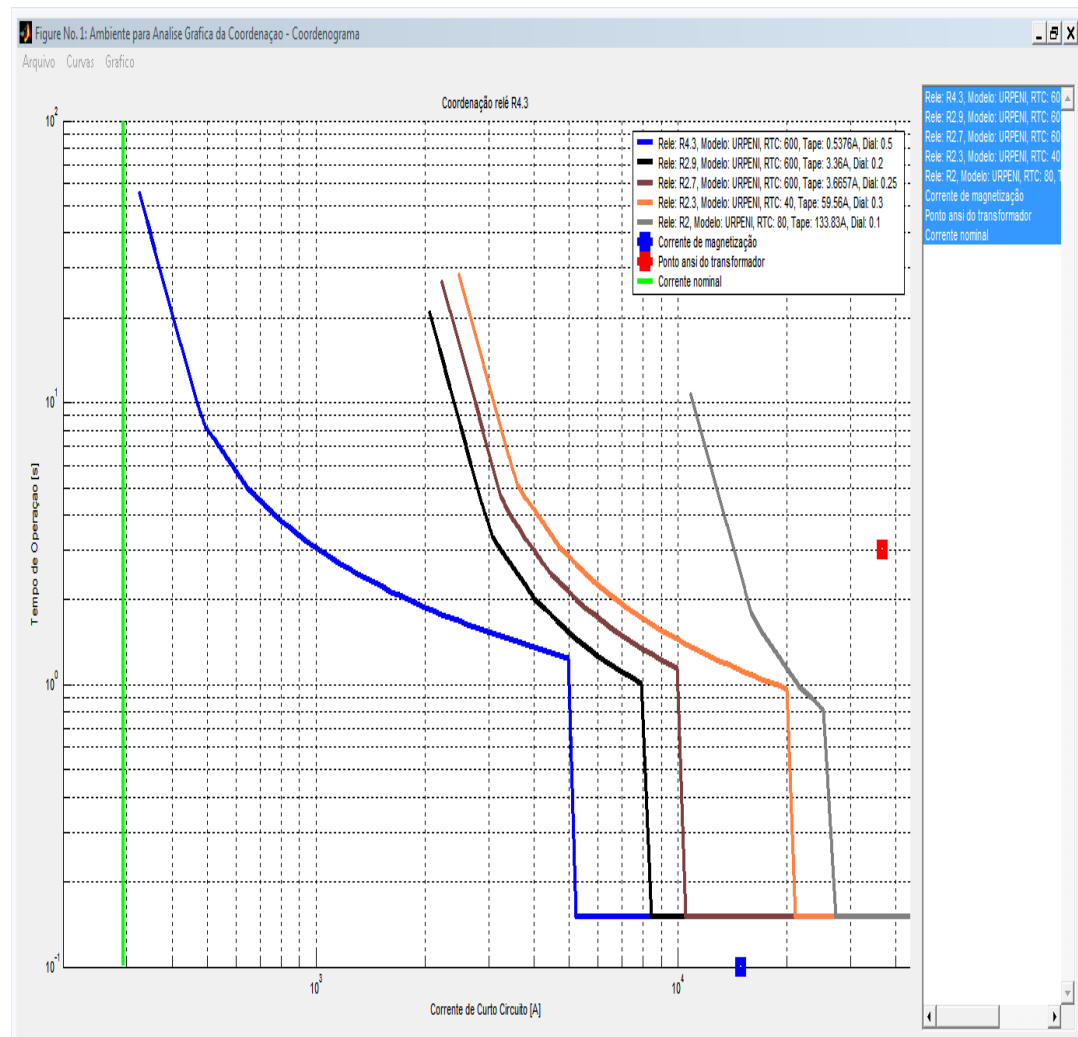


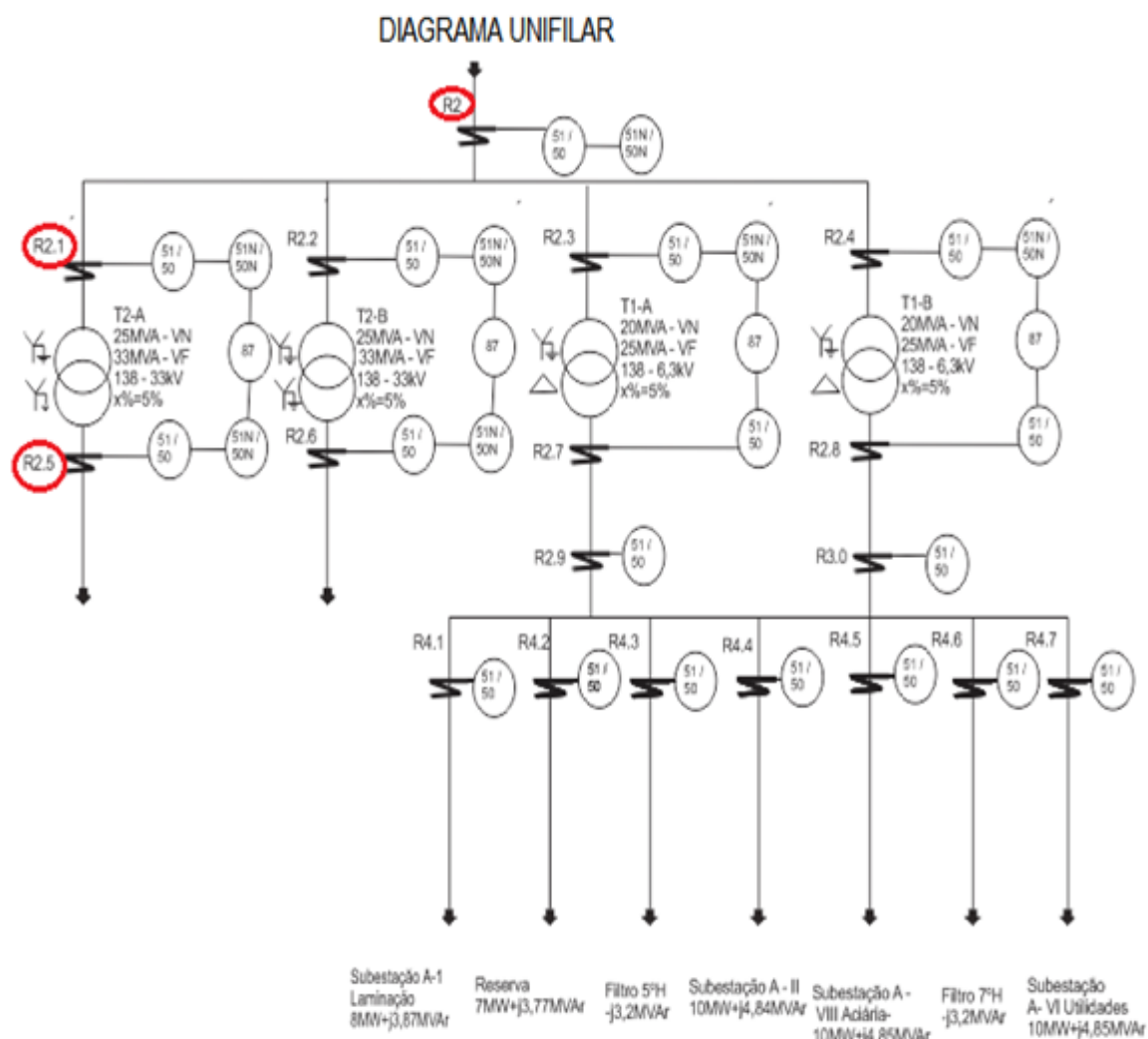
Tabela 26 – Dados de parametrização relés R4.3.

| Relé | Função | Curva  | Tape <sub>51</sub> | Tape <sub>50</sub> | Dial |
|------|--------|--------|--------------------|--------------------|------|
| R4.3 | 51/50  | URPENI | 0,5376             | 8,33               | 0,5  |

### 8.8 – Caso relés de fase R2.5; R2.1; R2.

Este coordenograma relativo ao transformador será montado na tensão de 138kV. Para melhor visualização deste caso utiliza-se a figura 36.

Figura 35 - Diagrama unifilar simplificado caso R2.5.



➤ Relé R2.5;

As informações relevantes para este caso são:

$$I_n = 437,38A$$

$$RTC = 800/5$$

$$I_{cc} = 4900A$$

A corrente de pick-up pode ser calculada por meio da equação (6.2.1) tem-se:

$$I_{pickup-fase} = 1,2I_{nominal}$$

$$I_{pickup-fase} = 1,2 \times 437,38$$

$$I_{pickup-fase} = 524,86A$$

Para o cálculo do tape de acordo com a equação (6.2.4) tem-se:

$$Tape_{51} = \frac{524,86}{800/5} = 3,28A$$

Para a função 50, define-se que a corrente de curto seja  $I_{cc} = 3000A$  e de acordo com a equação (6.2.5) tem-se:

$$Tape_{50} = \frac{I_{cc}}{RTC} = \frac{3000}{800/5} = 18,75A$$

De posse dos valores calculados, os mesmos deverão ser convertidos a 138kV, segue-se a conversão dos valores:

$$I_n = 437,38 \times 33/138 = 104,59A$$

$$I_{pickup-fase} = 524,86 \times 33/138 = 125,51A$$

$$Tape_{51} = 3,28 \times 33/138 = 0,7843A$$

$$\text{Tape}_{50} = 18,75 \times 33 / 138 = 4,4836\text{A}$$

➤ Relé R2.1;

As informações relevantes para este caso são:

$$I_n = 104,59\text{A} \qquad \text{RTC} = 150/5 \qquad I_{cc} = 1700\text{A}$$

A corrente de pick-up pode ser calculada por meio da equação (6.2.2) tem-se:

$$I_{\text{pickup-fase}} = 1,3 I_{\text{nominal}}$$

$$I_{\text{pickup-fase}} = 1,3 \times 104,59 = 135,97\text{A}$$

$$\text{Tape}_{51} = \frac{135,97}{150/5} = 4,53\text{A}$$

Para a corrente da função 50, como corrente de curto adota-se  $I_{cc} = 900\text{A}$ .

$$\text{Tape}_{50} = \frac{I_{cc}}{\text{RTC}} = \frac{900}{150/5} = 30\text{A}$$

Assim como o relé R2.4 das subseções anteriores, o relé R2.1 também deve permitir a passagem da corrente de inrush do transformador T2-A e fornecer a proteção necessária ao ponto ansi e, portanto, estes pontos deverão ser inseridos no coordenograma.

Para a corrente de inrush do transformador T2-A, de acordo com a tabela 8 temos:

$$I_{inrush} = 8 \times I_{nominal}$$

$$I_{inrush} = 8 \times 104,59 = 836,72A$$

No que se refere ao ponto ansi do transformador de acordo com a tabela 7 tem-se:

$$I_{ansi} = 20 \times 104,59 = 2091,8A$$

➤ Relé R2;

O relé R2 se encontra parametrizado na subseção 8.1, portanto será apresentado apenas os dados relevantes para levantamento do coordenograma:

$$I_n = 376,52A$$

$$I_{pickup} = 489,47A$$

$$Tape_{51} = 6,11A$$

$$Tape_{50} = 14,93A$$

Figura 36 - Coordenograma relé R2.5; R2.1; R2.

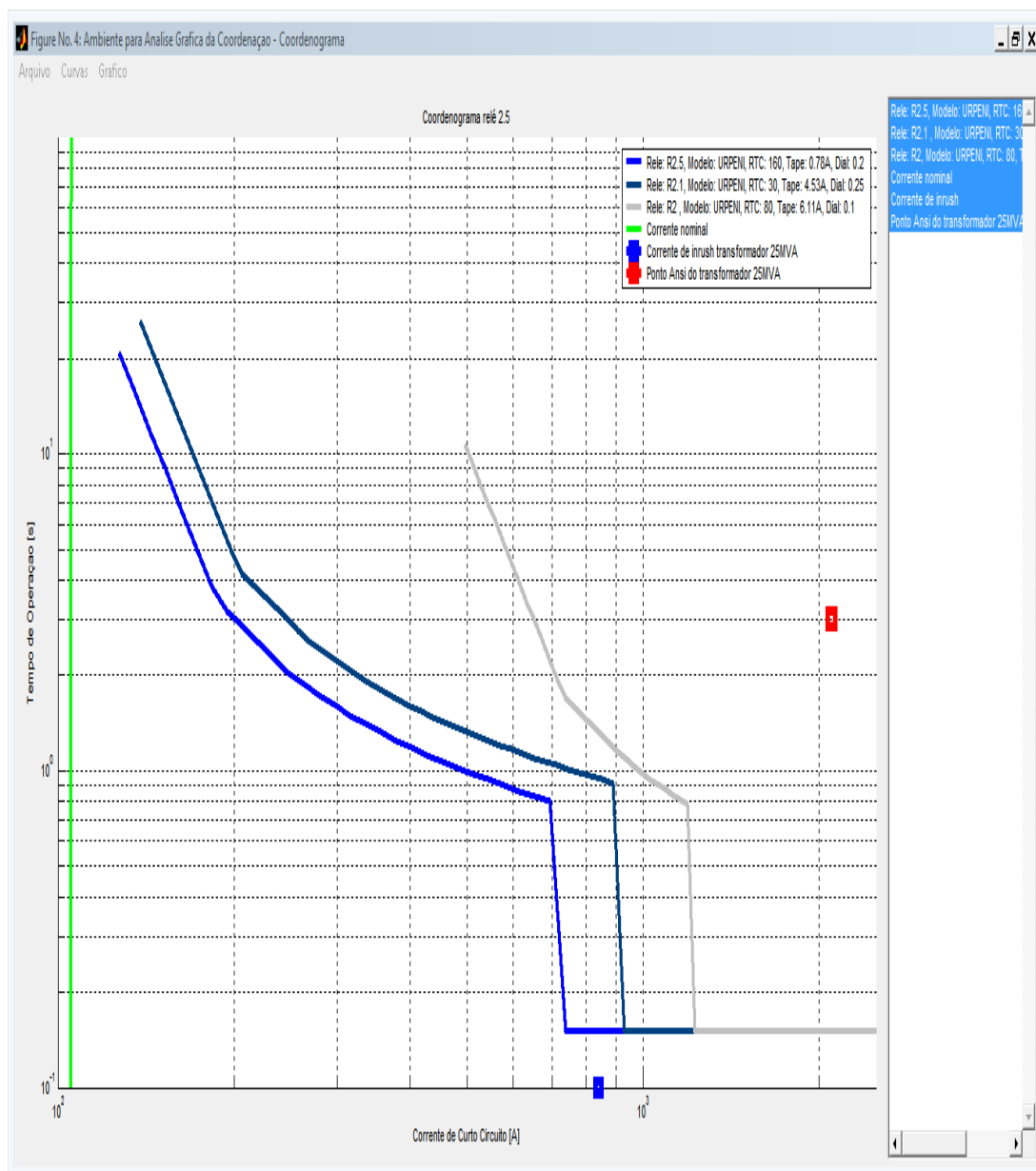


Tabela 27 – Dados de parametrização relés R2.5; R2.1.

| Relé | Função | Curva  | Tape <sub>51</sub> | Tape <sub>50</sub> | Dial |
|------|--------|--------|--------------------|--------------------|------|
| R2.5 | 51/50  | URPENI | 0,7843             | 4,4836             | 0,2  |
| R2.1 | 51/50  | URPENI | 4,53               | 30                 | 0,25 |

### 8.8.1 – Caso relés de neutro R2.5; R2.1; R2.

➤ Relé R2.5;

As informações relevantes para este caso são:

$$I_{\text{pickup-fase}} = 524,86\text{A}$$

$$RTC = 800/5$$

$$I_{cc} = 3000\text{A}$$

$$I_{\text{pickupN}} = 0,25 \times 524,86 = 131,21\text{A}$$

$$\text{Tape}_{51\text{N}} = \frac{131,21}{800/5} = 0,82$$

$$I_{cc_{50\text{N}}} = 0,25 \times 3000 = 750\text{A}$$

$$\text{Tape}_{50\text{N}} = \frac{750}{800/5}$$

$$\text{Tape}_{50\text{N}} = 4,68\text{A}$$

De posse dos valores encontrados, os mesmos deverão ser convertidos a 138kV.

$$I_{\text{pickup-fase}} = 131,21 \times 33/138 = 31,37\text{A}$$

$$\text{Tape}_{51} = 0,82 \times 33/138 = 0,1960\text{A}$$

$$\text{Tape}_{50} = 4,68 \times 33/138 = 1,119\text{A}$$

➤ Relé R2.1;

As informações relevantes para este caso são:

$$I_{\text{pickup-fase}} = 135,97\text{A}$$

$$RTC = 150/5$$

$$I_{cc} = 900\text{A}$$

$$I_{\text{pickupN}} = 0,25 \times 135,97 = 33,99\text{A}$$

$$\text{Tape}_{51\text{N}} = \frac{33,99}{150/5} = 1,13\text{A}$$

$$I_{cc_{50\text{N}}} = 0,25 \times 900 = 225\text{A}$$

$$\text{Tape}_{50\text{N}} = \frac{225}{150/5} = 7,5\text{A}$$

➤ Relé R2;

As informações relevantes para este caso são:

$$I_{\text{pickup-fase}} = 489,87\text{A}$$

$$RTC = 400/5$$

$$I_{cc} = 1195\text{A}$$

$$I_{\text{pickupN}} = 0,25 \times 489,87 = 122,46\text{A}$$

$$\text{Tape}_{51\text{N}} = \frac{122,46}{400/5} = 1,5307\text{A}$$

$$I_{cc_{50\text{N}}} = 0,25 \times 1195 = 298,75\text{A}$$

$$\text{Tape}_{50\text{N}} = \frac{298,75}{400/5} = 3,73\text{A}$$

Figura 37 - Coordenograma relés de neutro R2.5; R2.1; R2.

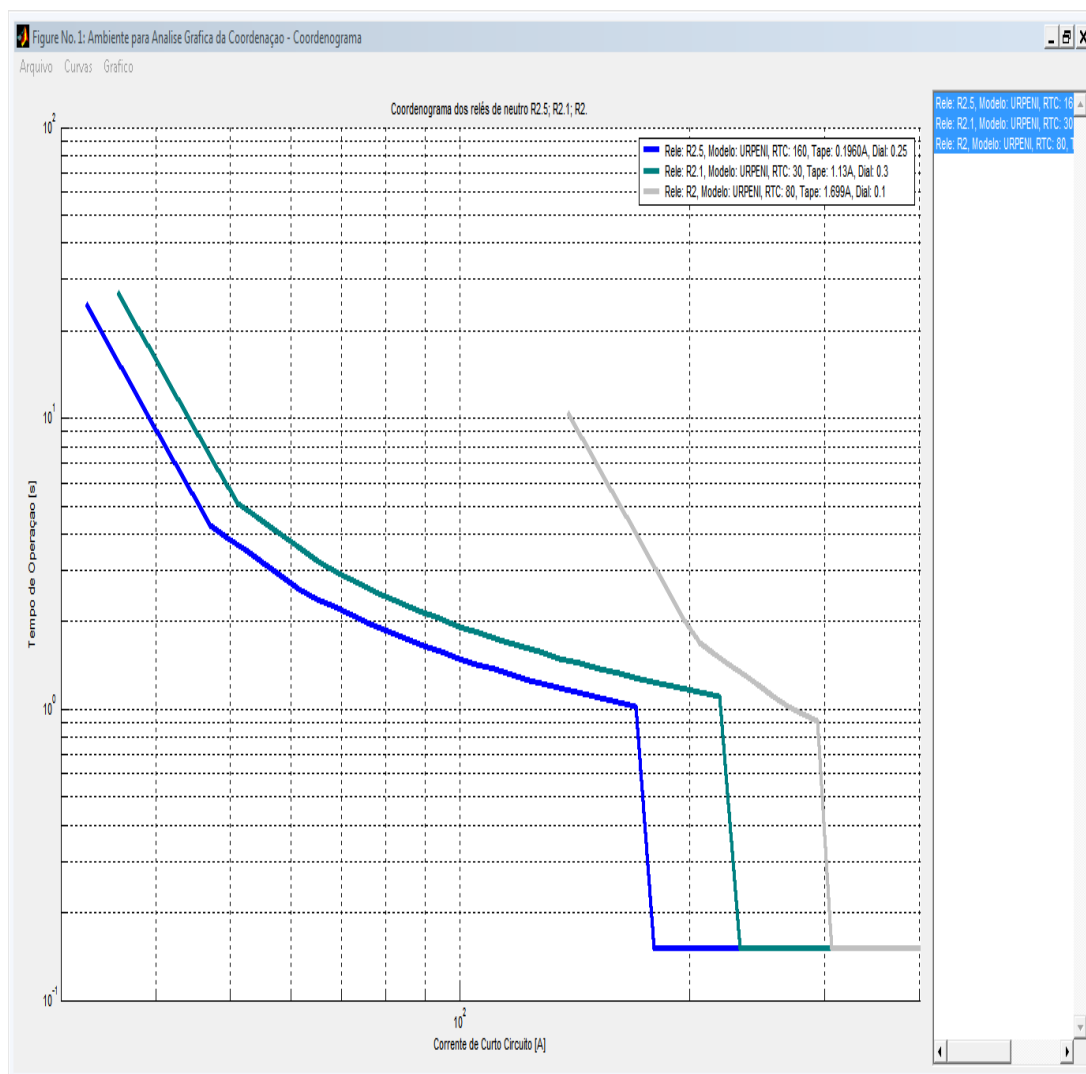


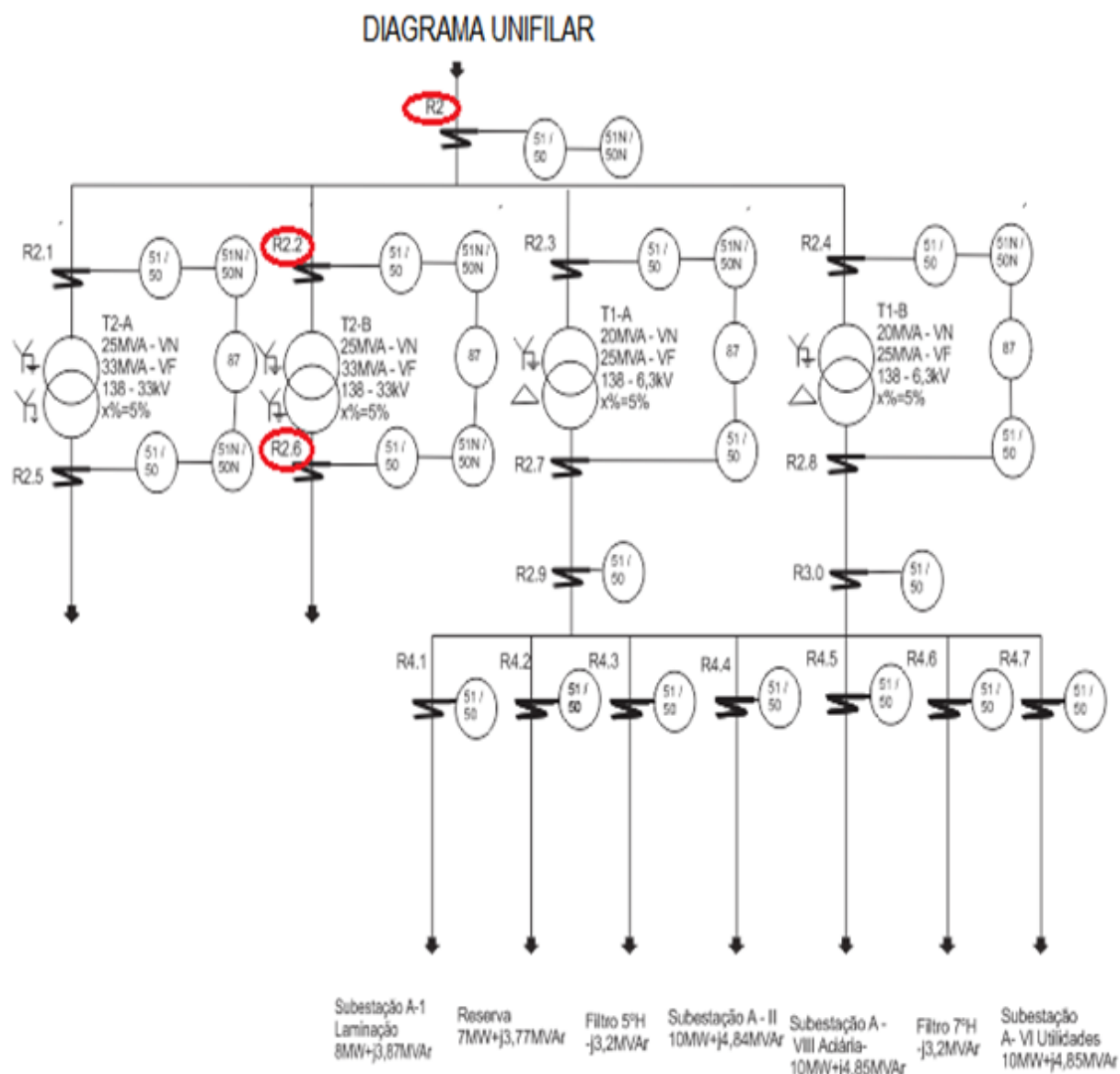
Tabela 28 – Dados de parametrização relés de neutro R2.5; R2.1; R2.

| Relé | Função | Curva  | Tape <sub>51</sub> | Tape <sub>50</sub> | Dial |
|------|--------|--------|--------------------|--------------------|------|
| R2.5 | 51/50N | URPENI | 0,196              | 1,119              | 0,25 |
| R2.1 | 51/50N | URPENI | 1,13               | 7,5                | 0,3  |
| R2   | 51/50N | URPENI | 1,699              | 14,93              | 0,1  |

## 8.9 – Caso relés de fase R2.6; R2.2; R2.

Para fins de visualização, segue-se a figura 39 onde mostra quais são as localidades dos relés.

Figura 38 - Diagrama unifilar simplificado caso R2.6; R2.2; R2.



As informações relevantes para este caso são:

$$I_n = 437,38A$$

$$RTC = \frac{800}{5}$$

$$I_{cc} = 4900A$$

Devido à similaridade com o caso do item 8.8, nesta subseção será apresentado o coordenograma na figura 40 e a tabela 29 os dados de parametrização, visto que os cálculos já foram realizados na subseção 8.8.

Figura 39 - Coordenograma relés de fase R2.6; R2.2; R2.

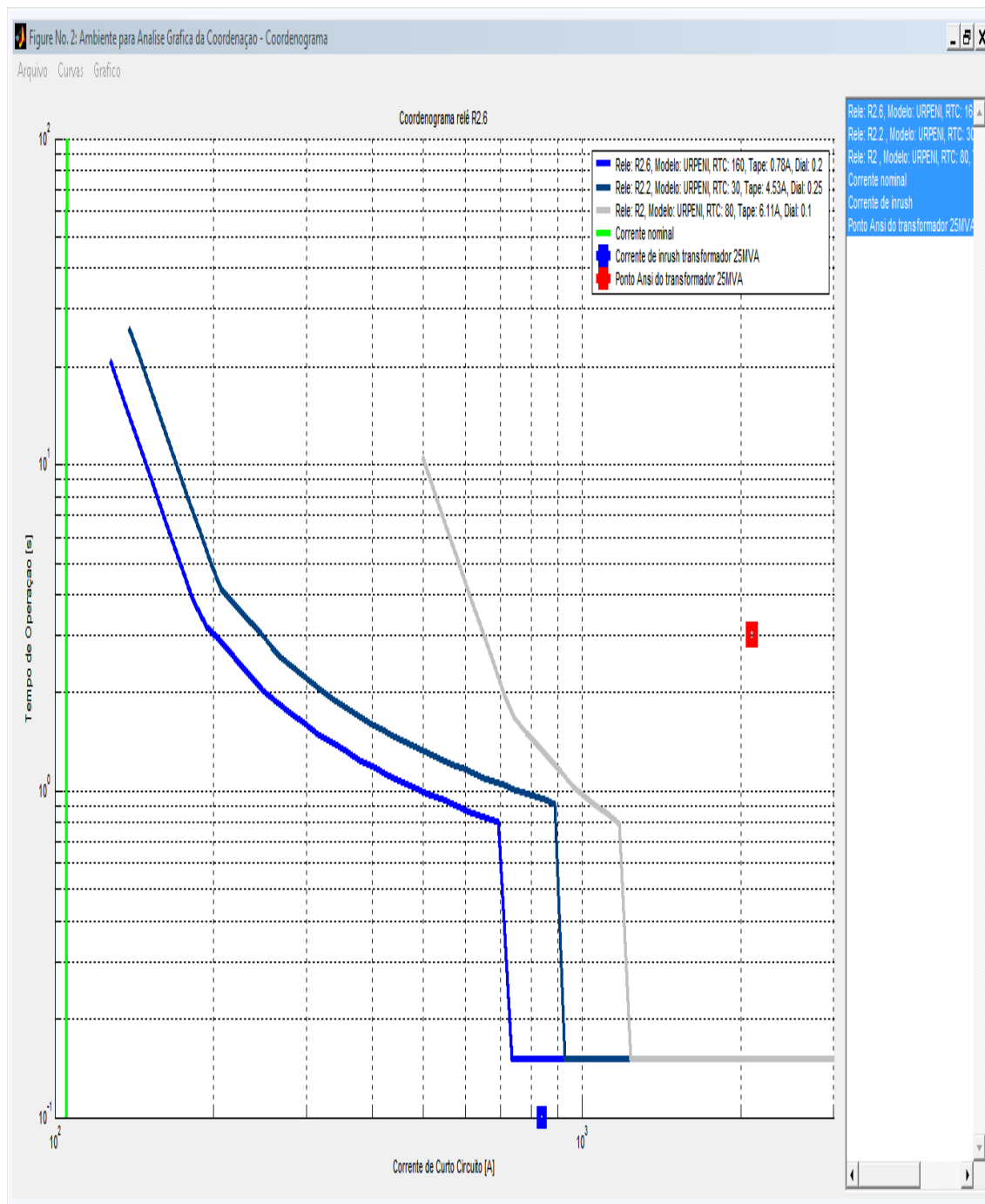


Tabela 29 – Dados de parametrização relés R2.6; R2.2; R2.

| Relé | Função | Curva  | Tape <sub>51</sub> | Tape <sub>50</sub> | Dial |
|------|--------|--------|--------------------|--------------------|------|
| R2.6 | 51/50  | URPENI | 0,7843             | 4,4836             | 0,2  |
| R2.2 | 51/50  | URPENI | 4,53               | 30                 | 0,25 |

### 8.9.1 – Caso relés de neutro R2.6; R2.2; R2.

Assim como o caso anterior, nesta subseção, devido sua similaridade com o caso 8.8.1, será apresentada apenas o coordenograma na figura 41 e na tabela 30 os respectivos dados de parametrização. As informações relevantes para este caso são:

$$I_{\text{pickup-fase}} = 524,86\text{A}$$

$$\text{RTC} = 800/5$$

$$I_{\text{cc}} = 3000\text{A}$$

Figura 40 - Coordenograma relés de neutro R2.6; R2.2; R2.

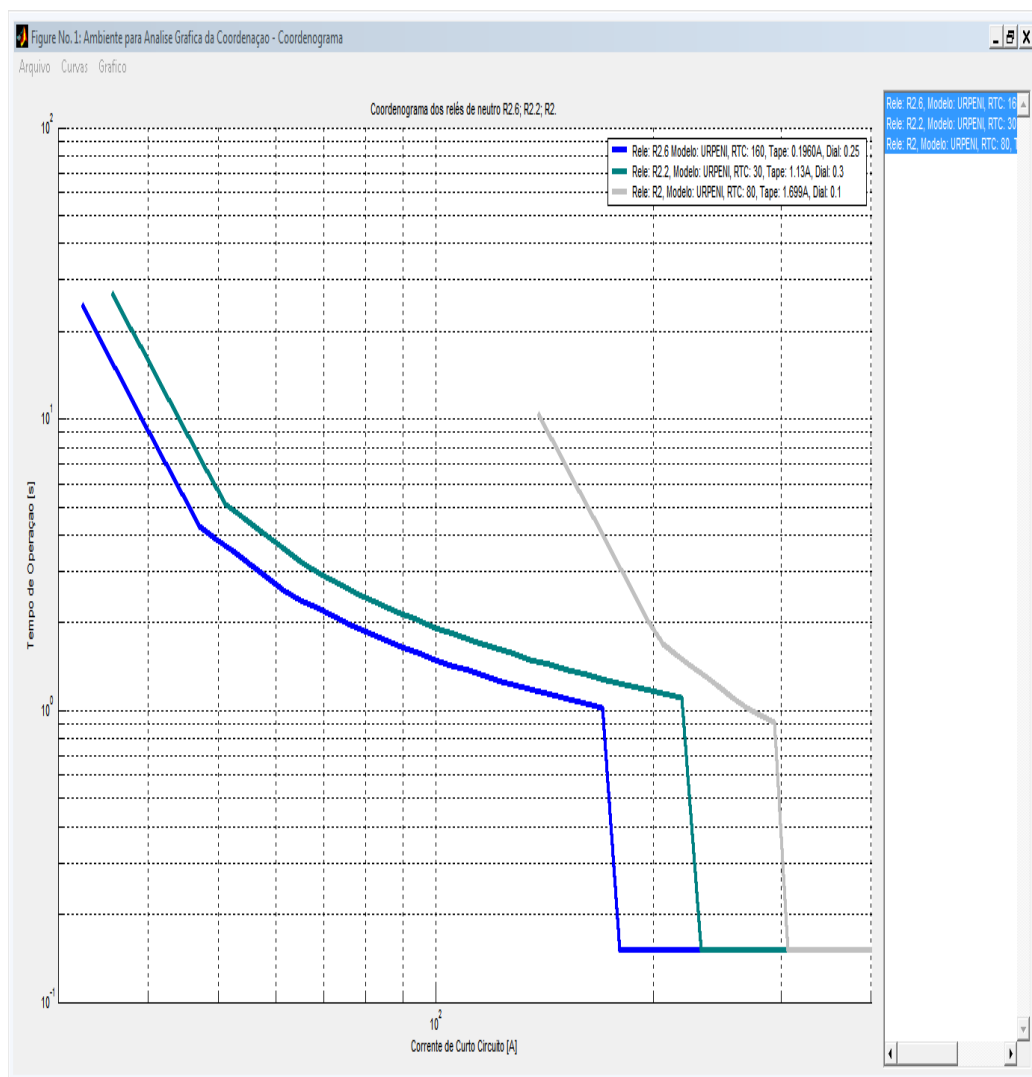


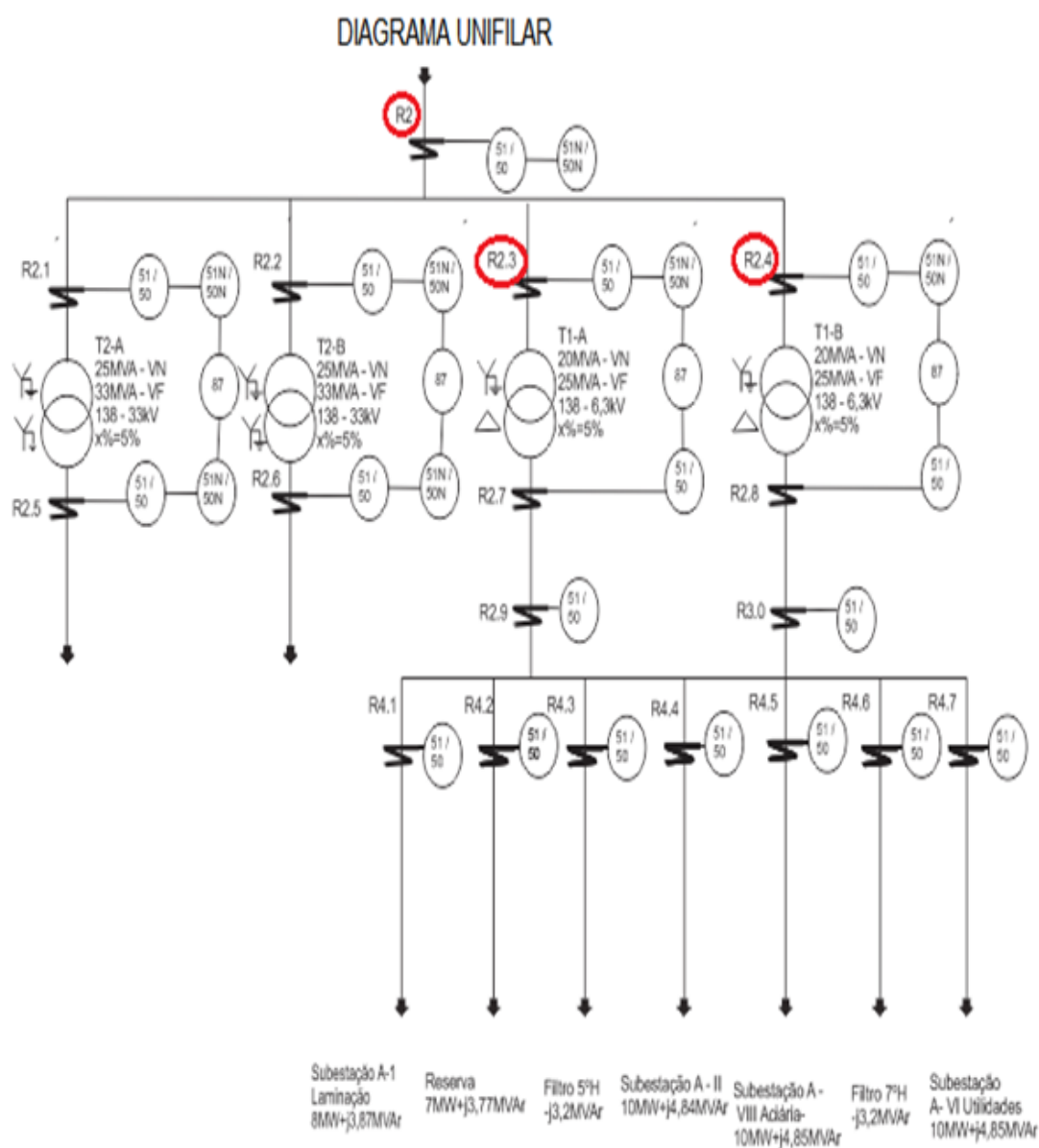
Tabela 30 - Dados de parametrização dos relés de neutro R2.6; R2.2; R2.

| Relé | Função | Curva  | Tape <sub>51</sub> | Tape <sub>50</sub> | Dial |
|------|--------|--------|--------------------|--------------------|------|
| R2.6 | 51/50N | URPENI | 0,196              | 1,119              | 0,25 |
| R2.2 | 51/50N | URPENI | 1,13               | 7,5                | 0,3  |
| R2   | 51/50N | URPENI | 1,699              | 14,93              | 0,1  |

## 8.10 – Caso relés de neutro R2.3/R2.4; R2.

Para melhor visualização destes casos de relés de neutro, tem-se a figura 42.

Figura 41 - Diagrama unifilar simplificado relés de neutro.



Nesta subseção os relés de neutro foram tratados de maneiras independentes, pois os transformadores que fornecem esse neutro possuem a ligação estrela-delta, os coordenogramas desta seção serão montados na tensão de 138kV.

### 8.10.1 - Caso relés de neutro R2.3; R2.

➤ Relé R2.3;

As informações relevantes para este caso são:

$$I_{\text{pickup-fase}} = 108,77\text{A}$$

$$RTC = 200/5$$

$$I_{cc} = 915\text{A}$$

$$I_{\text{pickupN}} = 0,25 \times 108,77 = 27,19\text{A}$$

$$Tape_{51N} = \frac{27,19}{200/5} = 0,67\text{A}$$

$$I_{cc_{50N}} = 0,25 \times 915 = 228,75\text{A}$$

$$Tape_{50N} = \frac{228,75}{200/5} = 5,71\text{A}$$

➤ Relé R2;

As informações relevantes para este caso são:

$$I_{\text{pickup-fase}} = 489,87\text{A}$$

$$RTC = 400/5$$

$$I_{cc} = 1195\text{A}$$

$$I_{\text{pickupN}} = 0,25 \times 489,87 = 122,46\text{A}$$

$$Tape_{51N} = \frac{122,46}{400/5} = 1,53\text{A}$$

$$I_{cc_{50N}} = 0,25 \times 1195 = 298,75\text{A}$$

$$Tape_{50N} = \frac{298,75}{400/5} = 3,73\text{A}$$

Figura 42 - Coordenograma dos relés de neutro R2.3; R2

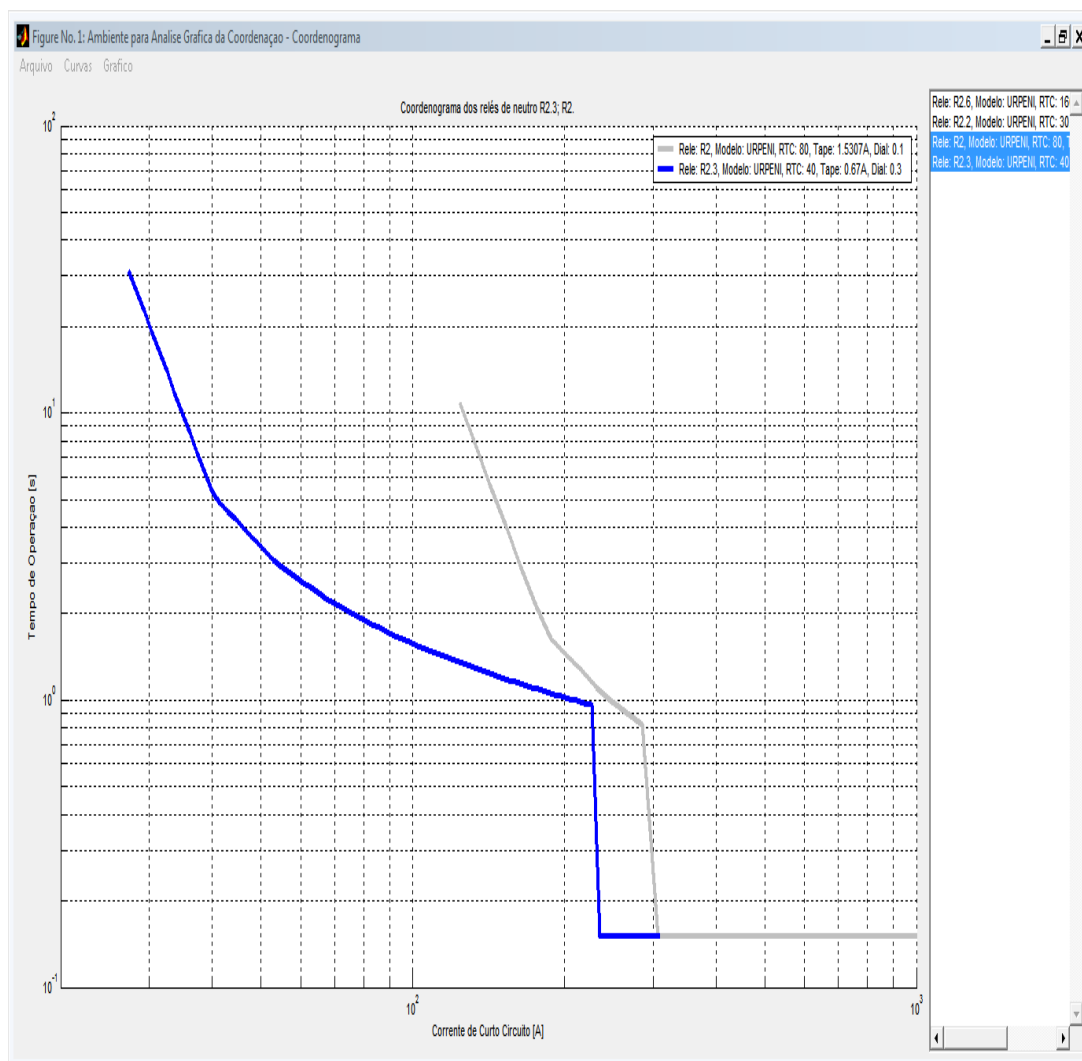


Tabela 31 - Dados de parametrização relés de neutro R2.3; R2.

| Relé | Função | Curva  | Tape <sub>51</sub> | Tape <sub>50</sub> | Dial |
|------|--------|--------|--------------------|--------------------|------|
| R2.3 | 51/50N | URPENI | 0,67               | 5,71               | 0,3  |
| R2   | 51/50N | URPENI | 1,53               | 3,73               | 0,1  |

### 8.10.2 – Caso relés de neutro R2.4; R2.

#### ➤ Relé R2.4;

Assim como o caso anterior, nesta subseção, devido sua similaridade com o caso 8.10.1, será apresentado o coordenograma na figura 44 e a tabela 32 onde consta os dados de parametrização. As informações relevantes para este caso são:

$$I_{\text{pickup-fase}} = 108,77\text{A}$$

$$\text{RTC} = 200/5$$

$$I_{\text{cc}} = 915\text{A}$$

Figura 43 - Coordenograma relés de neutro R2.4; R2.

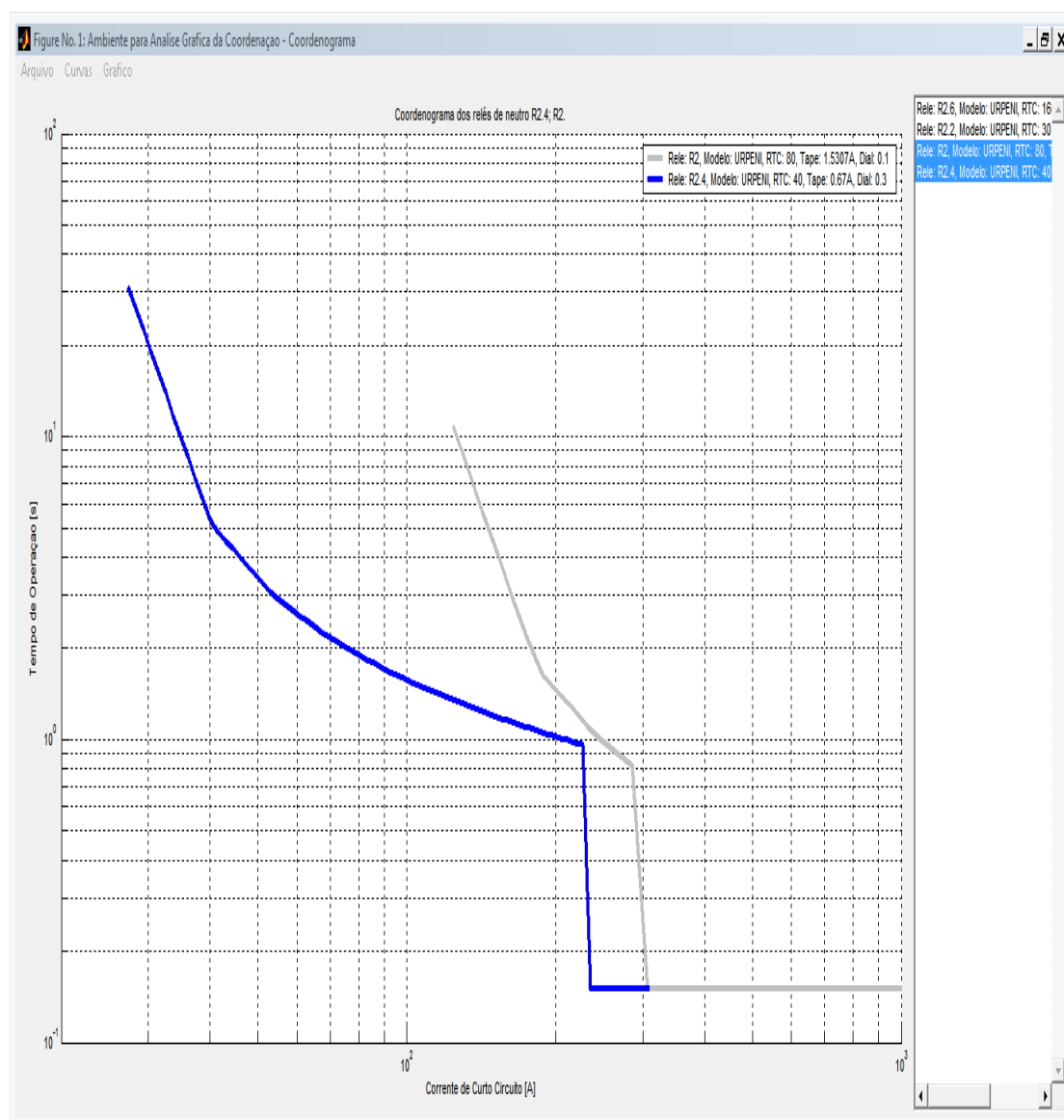


Tabela 32 - Dados de parametrização relés de neutro R2.4; R2.

| Relé | Função | Curva  | Tape <sub>51</sub> | Tape <sub>50</sub> | Dial |
|------|--------|--------|--------------------|--------------------|------|
| R2.4 | 51/50N | URPENI | 0,67               | 5,71               | 0,3  |
| R2   | 51/50N | URPENI | 1,53               | 3,73               | 0,1  |

## **9 – Conclusões.**

Referente aos ajustes dos relés de sobrecorrente observa-se que foram seguidas as principais características de filosofia de proteção, exatidão, seletividade, sensibilidade e rapidez. Em termos de coordenação das curvas objetivou-se ajustar os relés de tal forma que gerasse uma retaguarda para o relé ajustado.

É evidente que, no que tange à esfera proteção de uma maneira geral, há várias maneiras de se proteger uma planta, portanto é preciso estar de acordo com a filosofia de proteção de sistemas adequada para que sempre se utilize a melhor técnica e implique uma proteção precisa e efetiva.

O uso de softwares nos dias de hoje, é, de certa maneira fundamental, visto que estes programas auxiliam grandemente o projetista. Por outro lado, é necessário o uso do senso crítico na análise dos resultados para que projeto tenha coerência com a teoria. No caso deste trabalho o software CorelDraw teve sua importância para fins desenhos e diagramas, o que de certa forma facilita o entendimento do trabalho. O software Plataforma de Sistema de Potência (PSP) utilizado para cálculos das correntes de curto. E para fins de coordenação o software PlotCoord, projetado pela Companhia Energética de Minas Gerais designado à coordenação de curvas de relés e fusíveis.

Por fim, este trabalho por meio de uma visão macroscópica teve como principal objetivo lidar de certa forma com os obstáculos que um projetista possui ao realizar um projeto industrial e, principalmente, a aplicação e aprimoramento de conhecimentos adquiridos nas disciplinas de Análise de Sistemas Elétricos e Proteção de Sistemas Elétricos.

## 10 Referências.

RESENDE, J. W. **Apostila Introdução a Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. Uberlândia.: Universidade Federal de Uberlândia, 2009.

CAMINHA, A. **Introdução a Proteção dos Sistemas Elétricos**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1977.

BARRA, P. H. A. **Projeto de proteção contra curtos de um sistema elétrico industrial**. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, p. 137. 2015.

## Anexo I – Diagrama Unifilar da planta industrial.

### DIAGRAMA UNIFILAR

