

# Avaliação do Desempenho de Sistemas de Proteção de Redes de Distribuição Com Recursos Energéticos Distribuídos – ID 9585

**Autor: *Álvaro Bampi***

**Coautor: *Mariana Resener***

**Empresa: *RGE Sul – Grupo CPFL***

Realization:

instituto  
**abradee**



Host Company:

**CEMIG**



XXV Seminário  
Nacional de  
Distribuição de  
Energia Elétrica

**SENDI**  
**2025**  
BELO HORIZONTE

# SUMÁRIO

- Introdução
- Objetivos
- Metodologia
  - Especificação dos eventos
- Estudo de Caso
  - Resultados
- Conclusão
- Referências Bibliográficas

Realization:

instituto  
**abradee**



HostCompany:

**CEMIG**

# INTRODUÇÃO

- A conexão dos REDs em sistemas de distribuição
- Impactos da conexão de GDs na proteção de redes de distribuição;
- Como desenvolver uma estratégia para mitigar essa desvantagem do sistema;

Realization:

instituto  
**abradee**



HostCompany:

**CEMIG**

# OBJETIVOS

- Avaliar a sensibilidade e seletividade da proteção de redes de distribuição com a inserção de REDs;
- Avaliar o índice de deterioração da sensibilidade da proteção;
- Analisar possíveis alterações no sistema de proteção existente;

Realization:

instituto  
**abradee**



HostCompany:

**CEMIG**





# METODOLOGIA

- Projeto do sistema de proteção do alimentador;
- Análise das correntes de curto-circuito e da sensibilidade do sistema de proteção;
- Avaliação do limite de penetração de GDs, compromete a confiabilidade do sistema de proteção existente;

Realization:

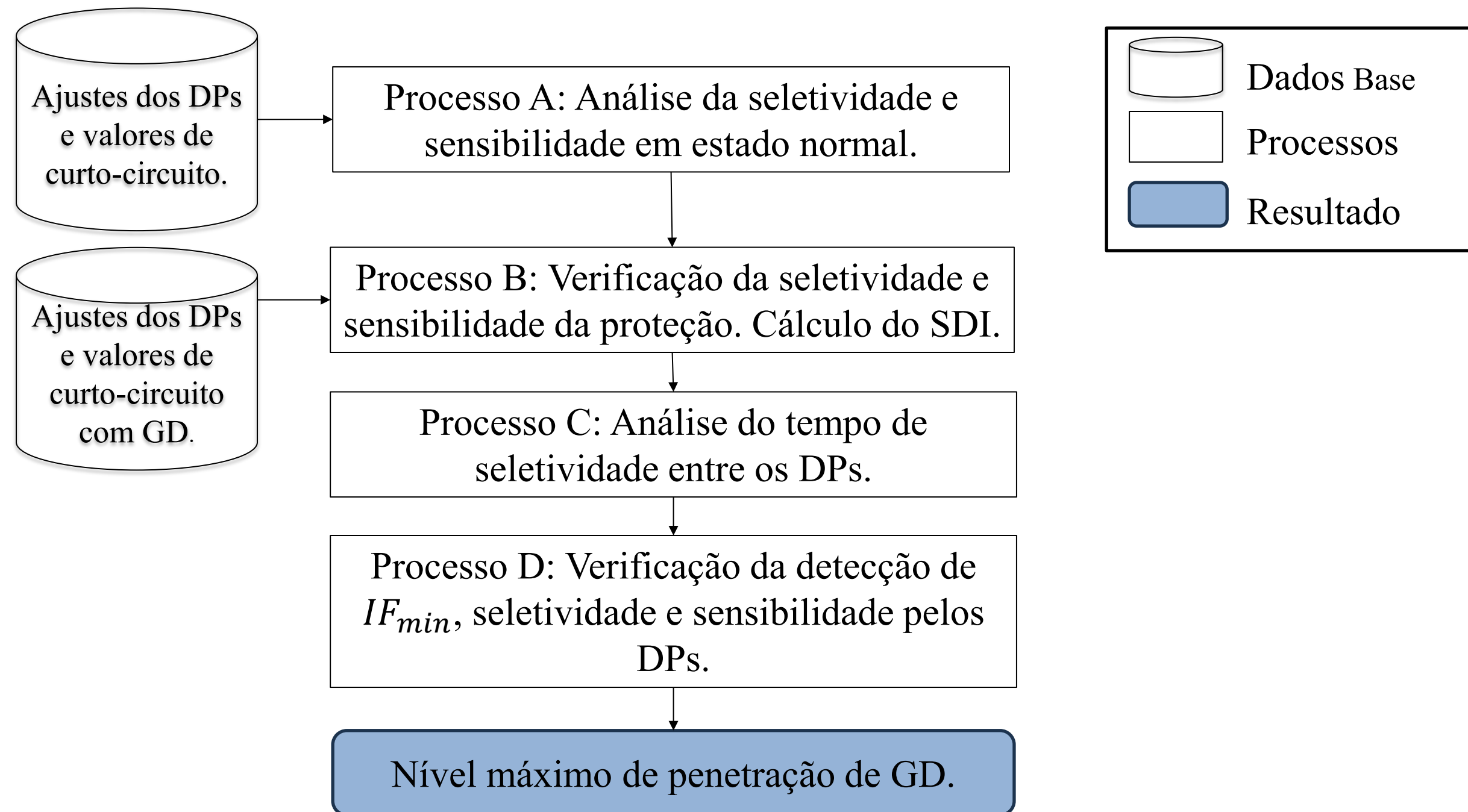
instituto  
**abradee**



HostCompany:

**CEMIG**

# METODOLOGIA



Realization:

instituto  
**abradee**



HostCompany:

**CEMIG**

# METODOLOGIA

O índice de deterioração de sensibilidade da corrente (SDI) pode ser obtido:

$$SDI = \frac{I_{com\ GD}^f}{I_{Sem\ GD}^f}$$

Realization:

instituto  
**abradee**



HostCompany:

**CEMIG**

# METODOLOGIA

- Seletividade entre Relés e Religadores:  
Considerando um sistema  
sem GD:

$$I_{f,AL} = I_{f,SE}$$

$$I_{f,RL} = 0$$

Considerando um sistema  
com GD:

$$I'_{f,AL} = I'_{f,SE} + I_{GD}^f$$

$$I_{f,RL} = I_{GD}^f$$

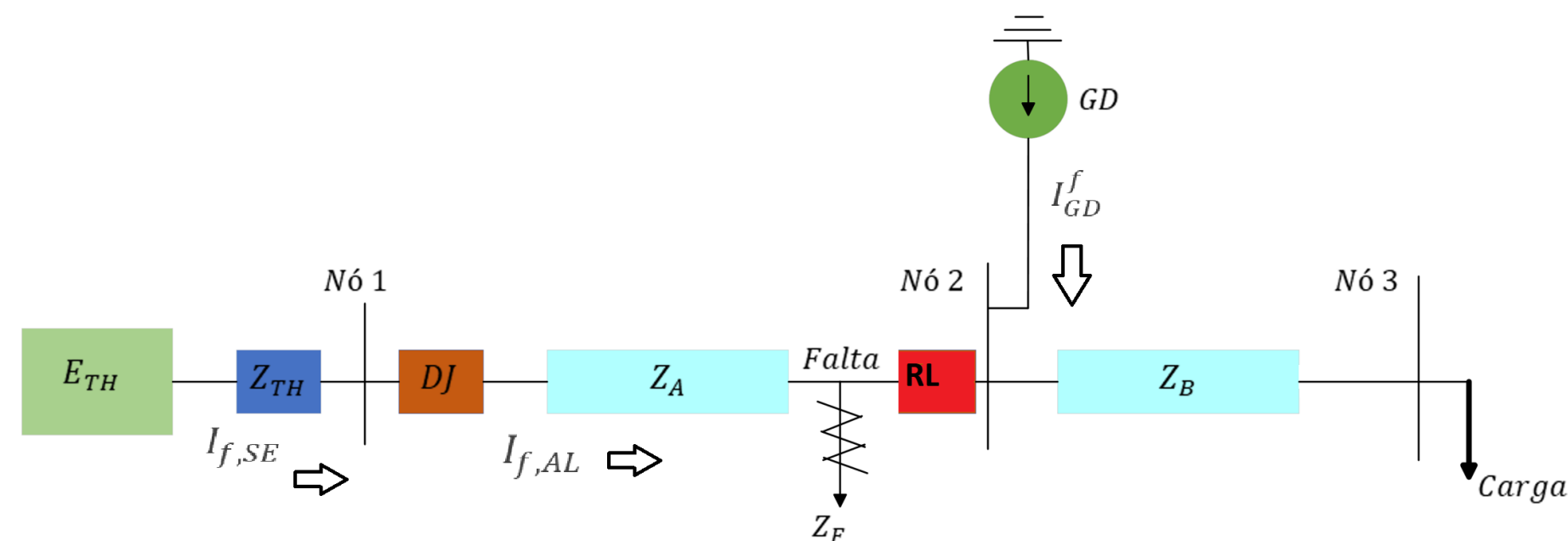


Figura 1 – Diagrama Simplificado do caminho das correntes para um CC entre a SE e a GD.

Realization:

instituto  
**abradee**



HostCompany:

**CEMIG**



# METODOLOGIA

- Seletividade entre Religadores e Fusíveis:  
Considerando um sistema sem GD:

$$I_{f,(FU)} = I_{cc,max}$$

$$I_{f,RL} = I_{f,SE}$$

Considerando um sistema com GD:

$$I'_{f,(FU)} = I'_{f,RL} + I_{GD}^f$$

$$I_{f,RL} = I'_{f,SE}$$

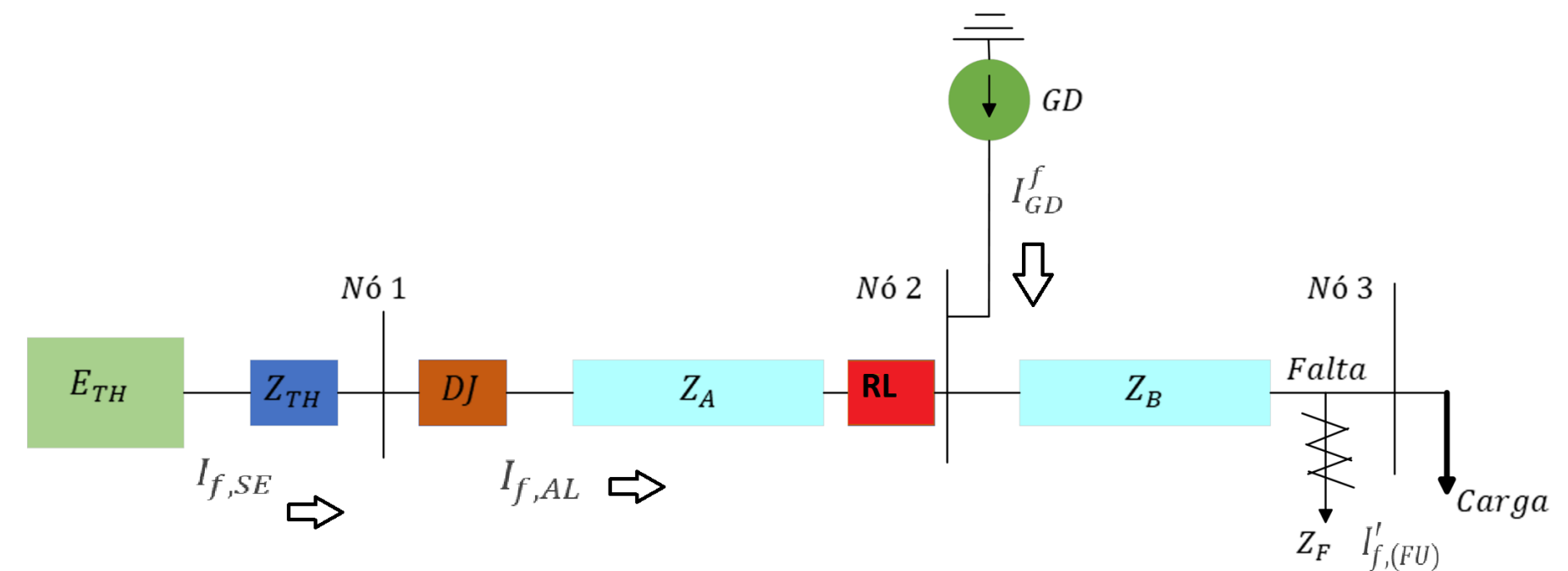


Figura 2 – Diagrama Simplificado do caminho das correntes para um CC entre a SE e a GD.

Realization:

instituto  
**abradee**



HostCompany:

**CEMIG**

# Especificação dos Eventos

- Inserção de GD no sistema;
- Localização do curto-circuito;
- Tipos de de curtos-circuitos;
- Seletividade e sensibilidade;
- Contingência ou manobras na rede;

Tabela 1 – Valores Inserção de GD

Penetração de GD (%)	Potência (MVA)
12	0,25
25	0,50
37	0,75
50	1,00
75	1,50
100	2,00

Realization:

instituto  
**abradee**



HostCompany:

**CEMIG**

# ESTUDO DE CASO

- Alimentador 01: Extensão de 21km e carregamento de 1MVA;
- Alimentador 02: Extensão de 35km e carregamento de 3MVA;
- Atendendo um total de 5mil consumidores.

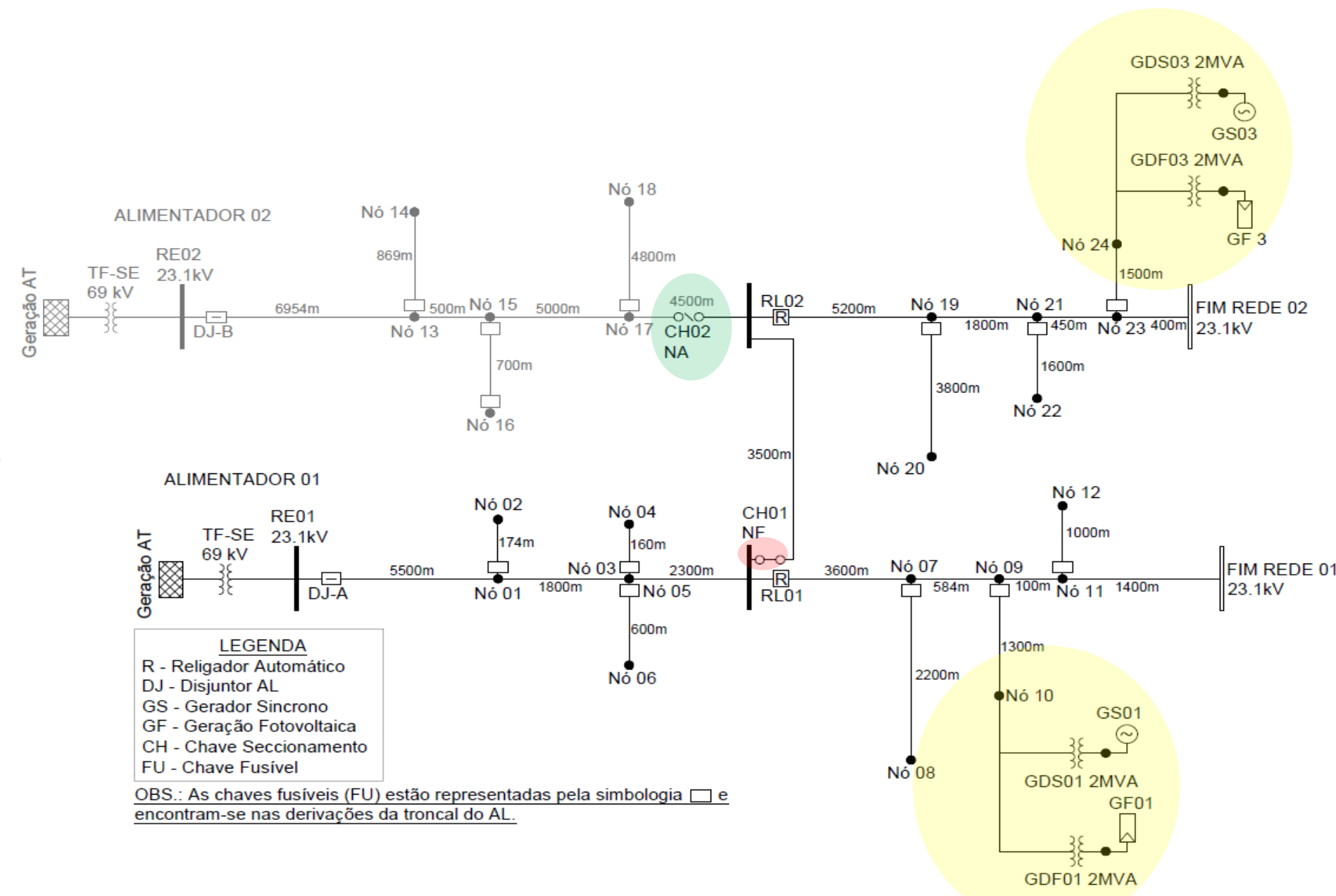


Figura 3 – Diagrama unifilar do AL.

Realization:

HostCompany:

# ESTUDO DE CASO

- Modelo de Gerador Fotovoltaico:
  - Potência nominal 2 MVA;
  - Tensões valor mín. de 0,88 pu e máx. de 1,2 pu;
  - Limites da corrente em 1,1 pu quando tensão de sequência positiva é maior que 0,6 pu.
- Modelo de Gerador Síncrono:
  - Potência nominal 2 MVA
  - Ligação em  $\Delta/Y$ ;
  - 23,1 kV MT e 0,38 kV BT.

Realization:

instituto  
**abradee**



HostCompany:

**CEMIG**



## An abstract graphic featuring several thick, flowing, and slightly blurred lines in shades of green and blue. The lines originate from the bottom left and curve upwards and to the right, creating a sense of motion and fluidity. The background is plain white.

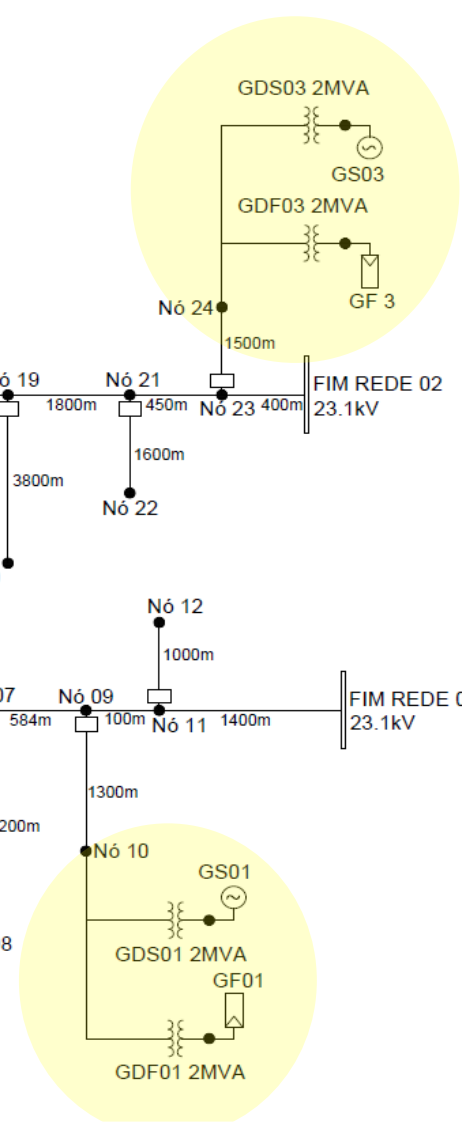


Figura 3 – Diagrama unifilar do AL.

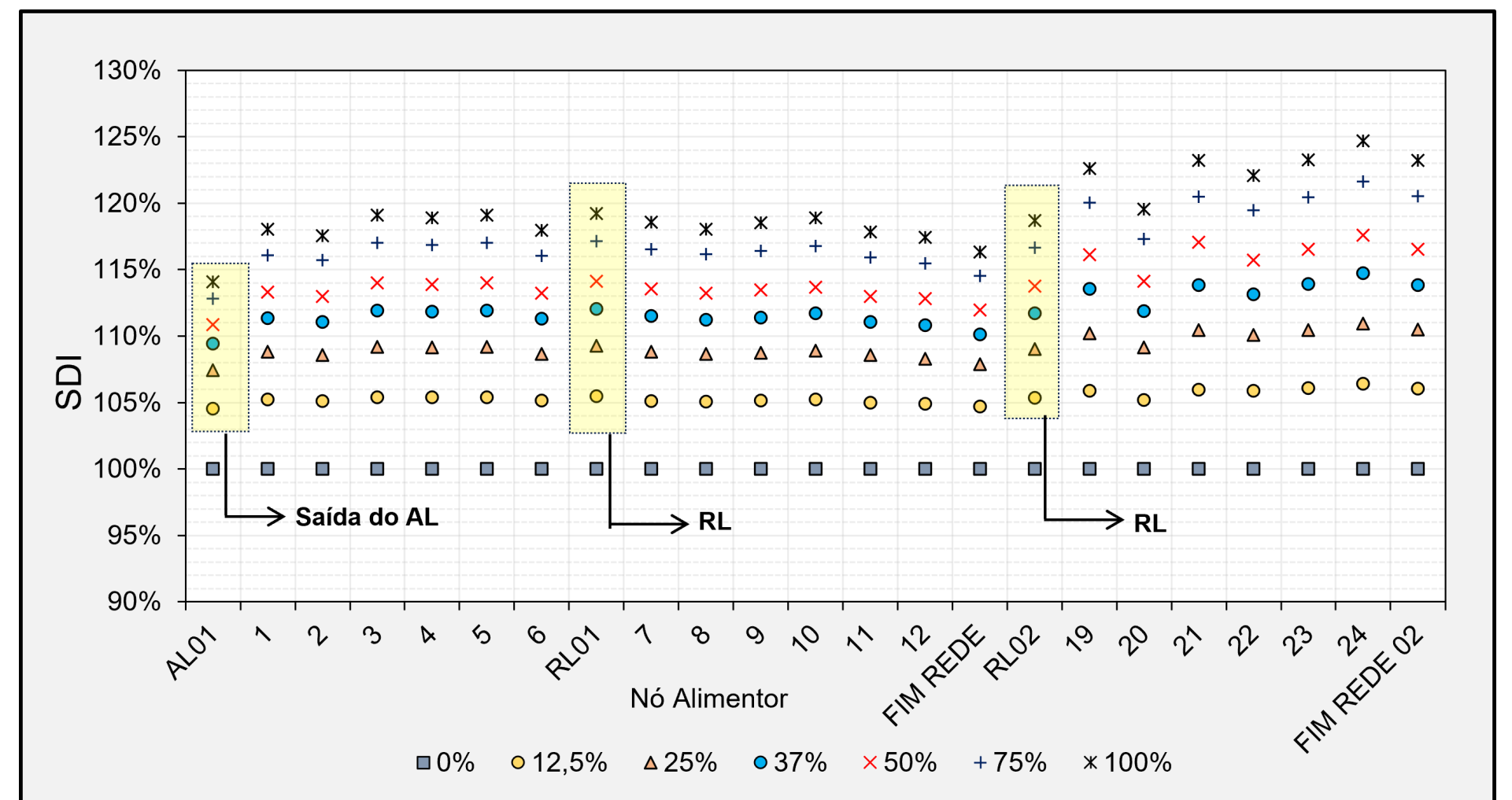


Figura 5 – SDI para Curto-circuito monofásico.

Host Company:

# RESULTADOS $Z_F = 0 \Omega$

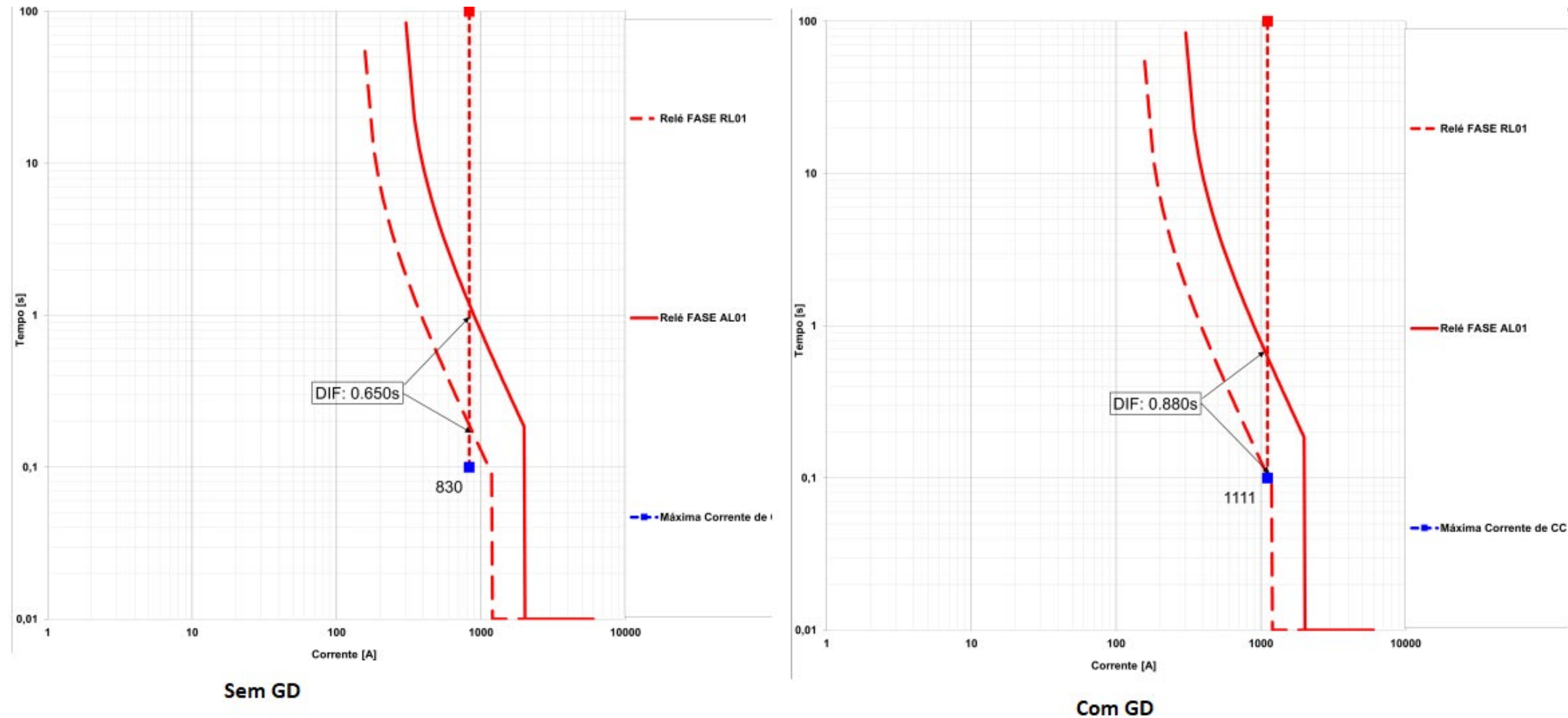


Figura 6 – Coordenograma das proteções do AL e RL01 sem e com GD.

Realization:

instituto  
**abradee**



HostCompany:

**CEMIG**

# RESULTADOS $Z_F = 0 \Omega$

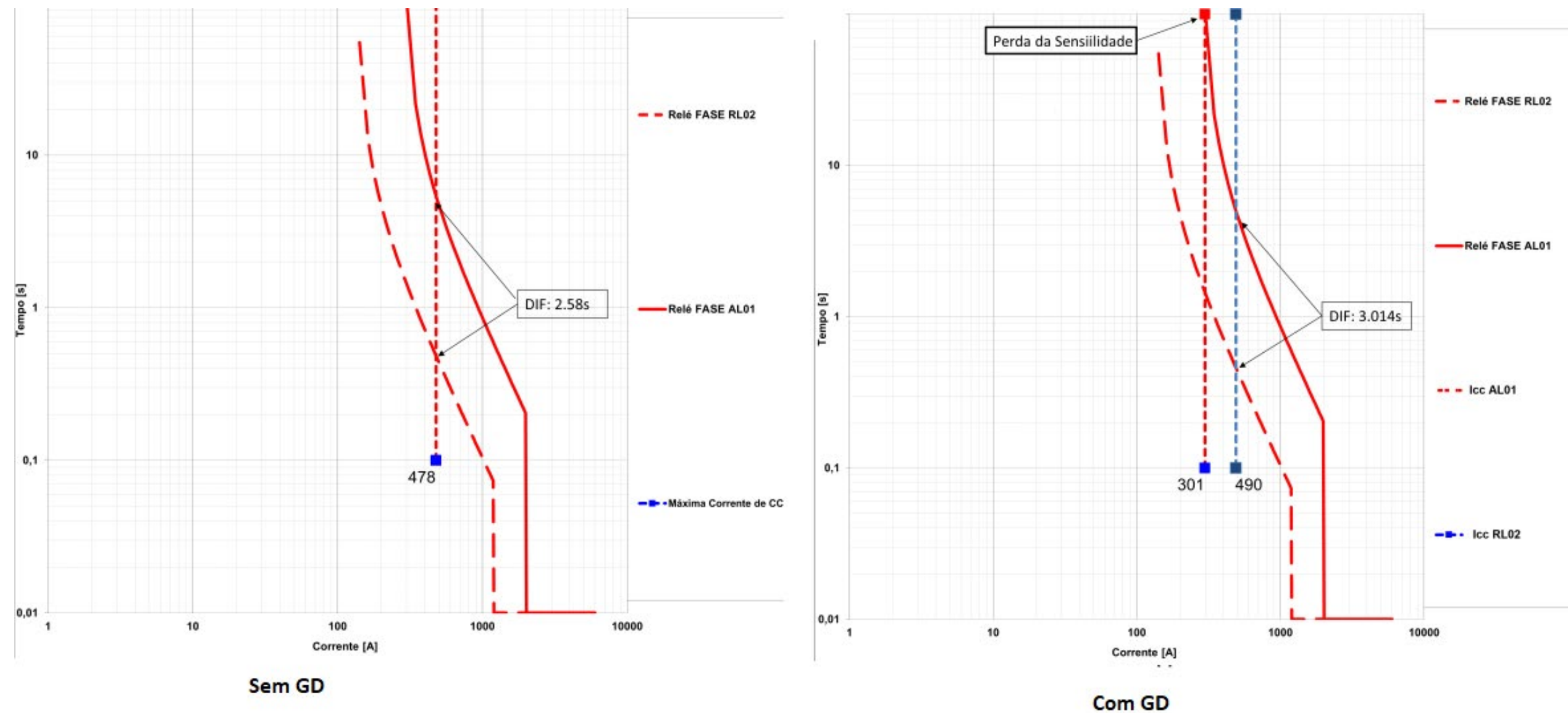


Figura 7 – Coordenograma das proteções do AL e RL02 sem e com GD.

Realization:

instituto  
**abradee**



HostCompany:

**CEMIG**



# RESULTADOS $Z_F = 0 \Omega$

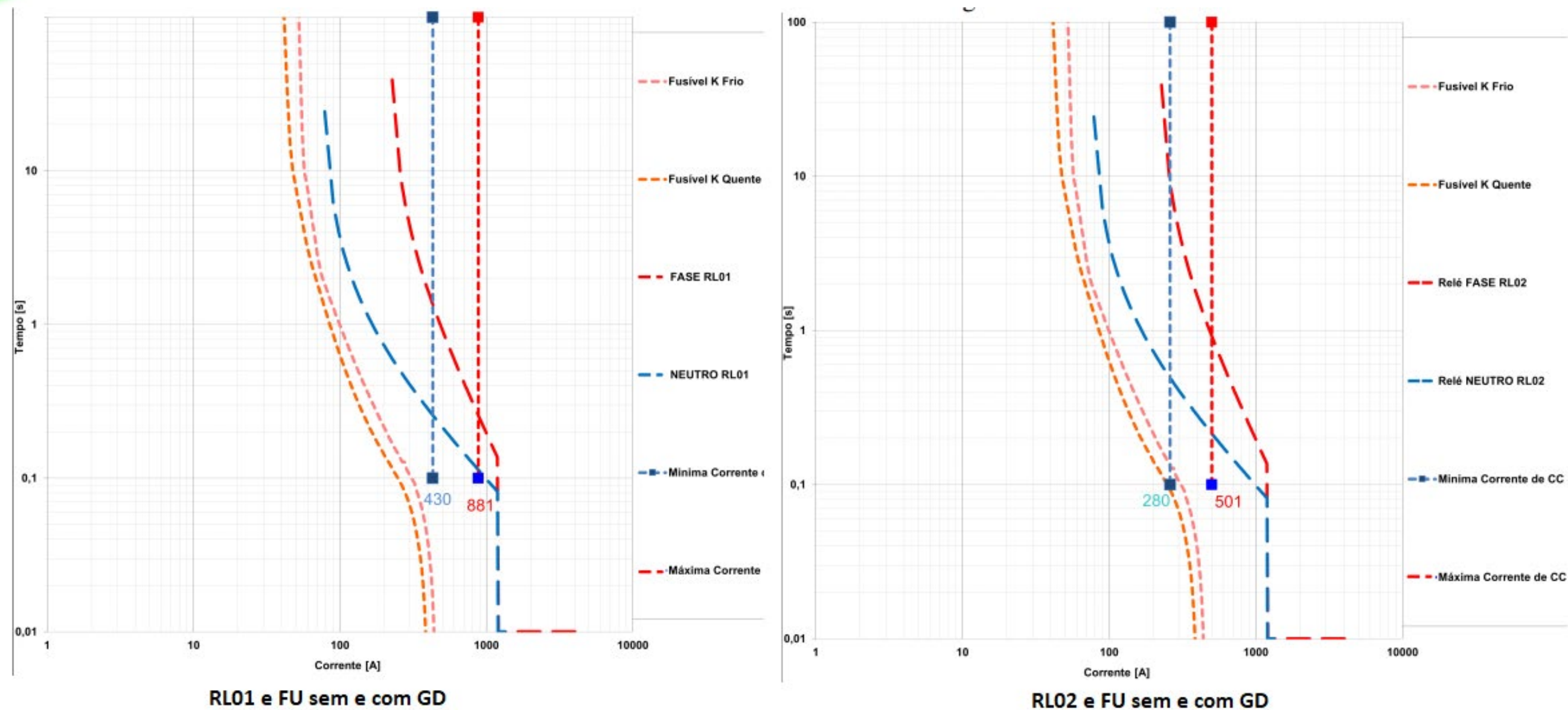


Figura 8 – Coordenograma entre RL01, RL02 e fusíveis com e sem GD.

Realization:

instituto  
**abradee**



HostCompany:

**CEMIG**



# RESULTADOS $Z_F = 40 \Omega$

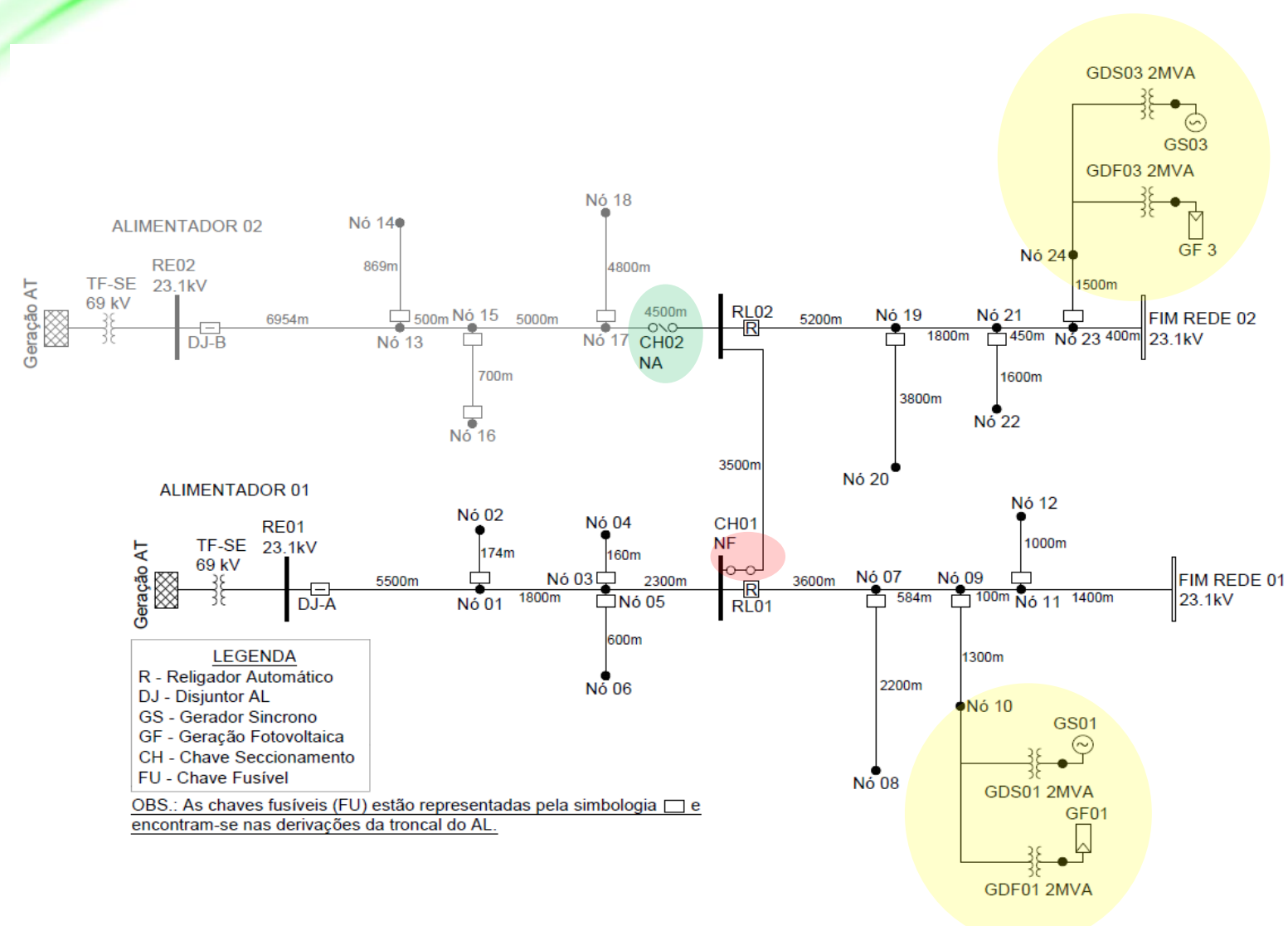


Figura 3 – Diagrama unifilar do AL.

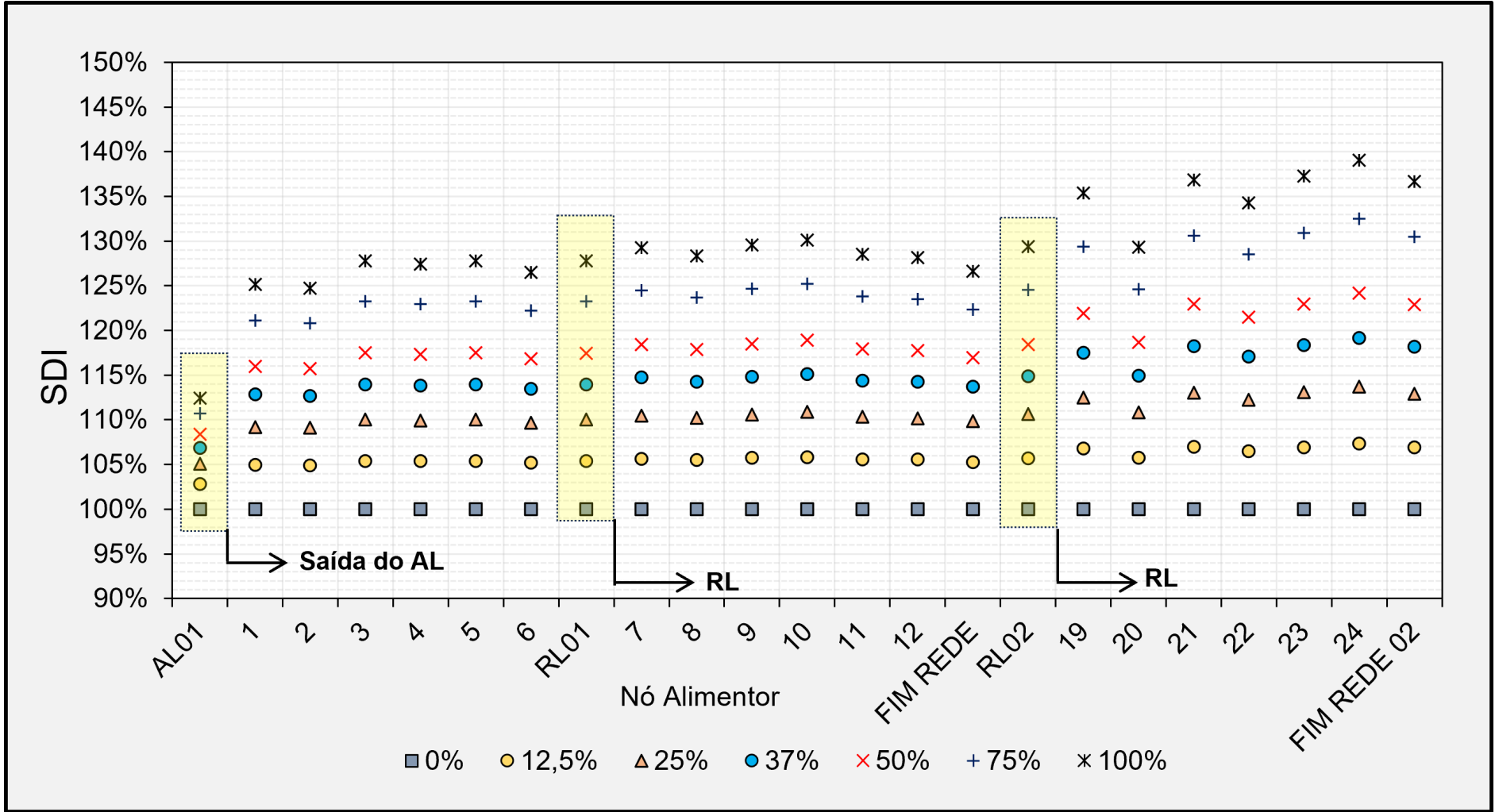


Figura 9 – SDI para Curto-circuito com impedância.

Realization:

HostCompany:

instituto  
abradee



CEMIG

# RESULTADOS $Z_F = 40 \Omega$

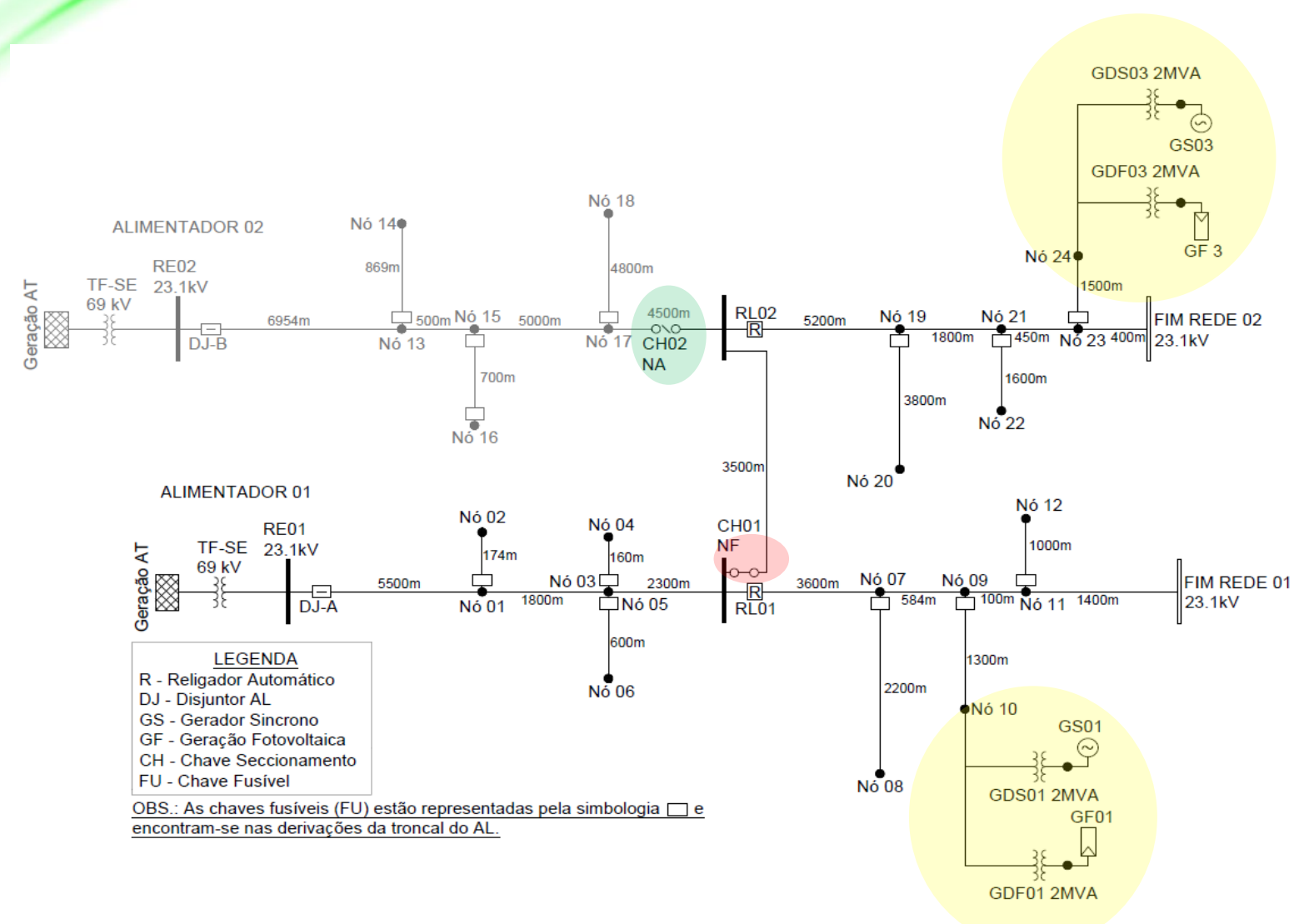


Figura 3 – Diagrama unifilar do AL.

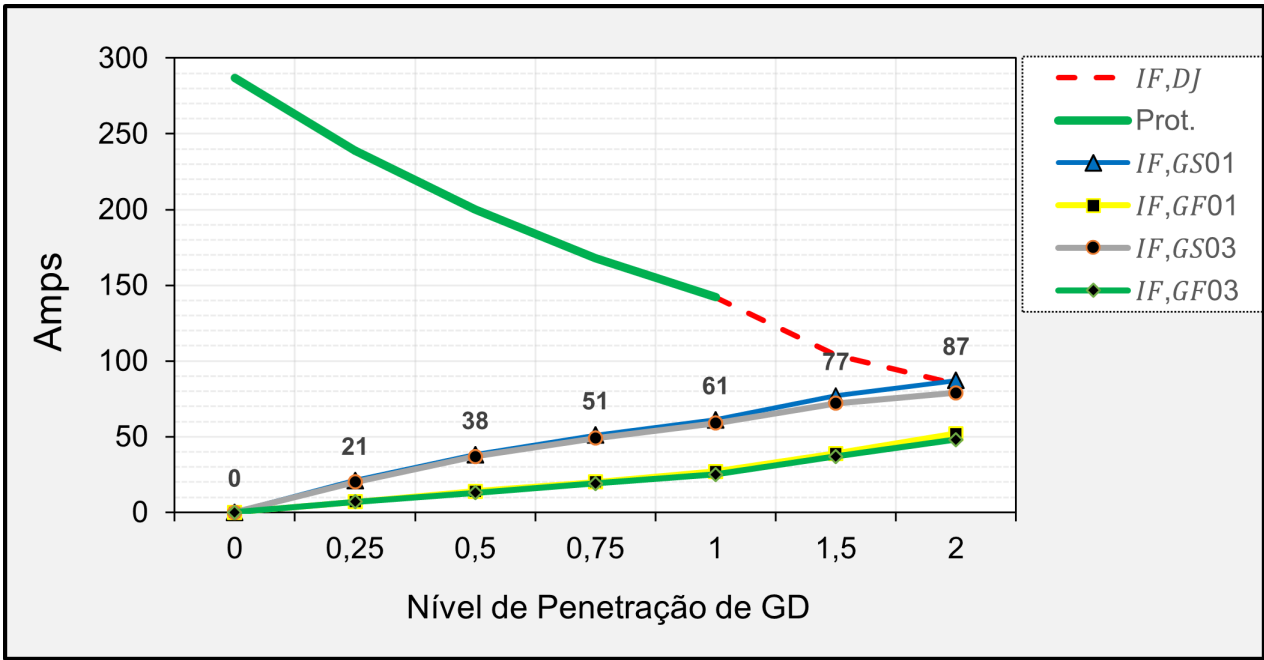


Figura 10 – Contribuição da GD em relação AL e RL01.

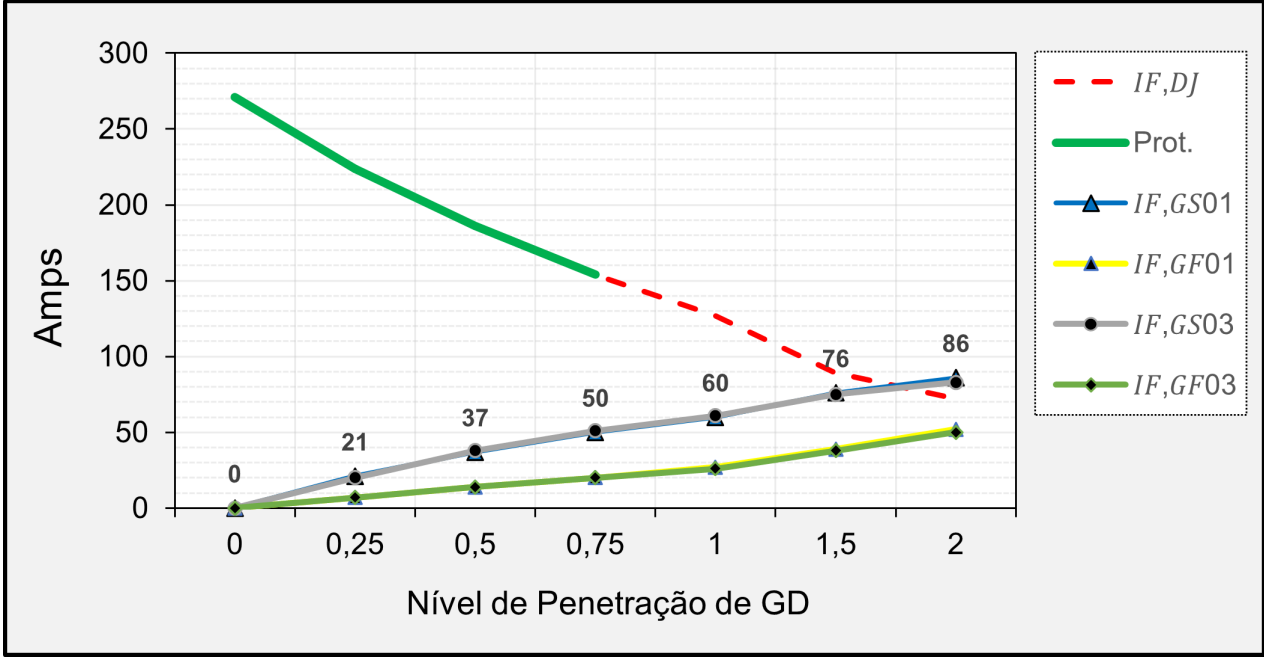


Figura 11 – Contribuição da GD em relação AL e RL02.

Realization:

HostCompany:

# CONCLUSÃO

As simulações realizadas demonstraram que o nível de penetração de GDs conectadas à rede pode influenciar significativamente no comportamento do sistema de proteção.

Nesse contexto, entende-se que os resultados apresentados neste trabalho contribuem para entendimento dos impactos da conexão de GDs em redes de distribuição com relação à proteção convencional de sobrecorrente.

Realization:

instituto  
**abradee**



HostCompany:

**CEMIG**





**OBRIGADO!**



# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASPEN ONELINER. Converter-Iterfaced Resource Command. USA, 2020.
- BAMPI, A. Avaliação do Desempenho de Sistemas de Proteção de Redes de Distribuição com Geração Distribuída. 2023. 108 p. Dissertação (Mestrado em engenharia) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023.
- CASTRO, N. d.; GOUVÊA, A. R.; MOSZKOWICZ, M. Desafios das distribuidoras de energia elétrica frente à difusão dos recursos energéticos distribuídos. Canal Energia, [S.l.], p.1–5, 2019.

Realization:

instituto  
**abradee**



HostCompany:

**CEMIG**

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- IEEE1547. IEEE Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces–Amendment 1: to provide more flexibility for adoption of abnormal operating performance category iii. IEEE Std 1547a-2020 (Amendment to IEEE Std 1547-2018), [S.l.], p.1–16, 2020.
- MARCHESAN, G. et al. Distributed Synchronous generation ride-through enhancement by anti-islanding protection blocking. Electric Power Systems Research, [S.l.], v.196, p.107232, 2021.

Realization:

instituto  
**abradee**



HostCompany:

**CEMIG**

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- YOUSAF, M.; MUTTAQI, K. M.; SUTANTO, D. A Control Strategy to Mitigate the Sensitivity Deterioration of Overcurrent Protection in Distribution Networks With the Higher Concentration of the Synchronous and Inverter-Based DG Units. IEEE Transactions on Industry Applications, [S.l.], v.57, n.3, p.2298–2306, 2021.

Realization:

instituto  
**abradee**



Host Company:

**CEMIG**