

REQUISITOS MÍNIMOS DE PROTEÇÃO ANTI-ILHAMENTO

Parte I: Estudos via zonas de não detecção

Parte II: Metodologia de análise de risco

Projeto PA3085: Requisitos mínimos de funções de proteção anti-ilhamento e de curvas de regulação de geradores distribuídos



Walmir Freitas

University of Campinas – UNICAMP

<http://www.dsee.fee.unicamp.br/~walmir>

Motivações: segurança do sistema interligado (ONS)

✓ **Problema:** Análise de eventos passados e estudos realizados pelo ONS **comprovam** que a desconexão em cascata de GDs tem potencial para:

- Aumentar os riscos de atuações do **ERAC**
- Transformar cenários seguros em **inseguros**

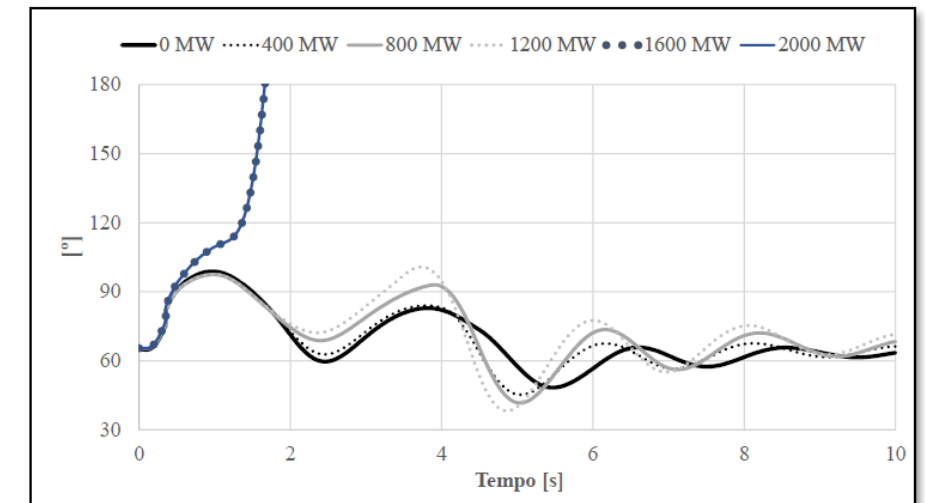
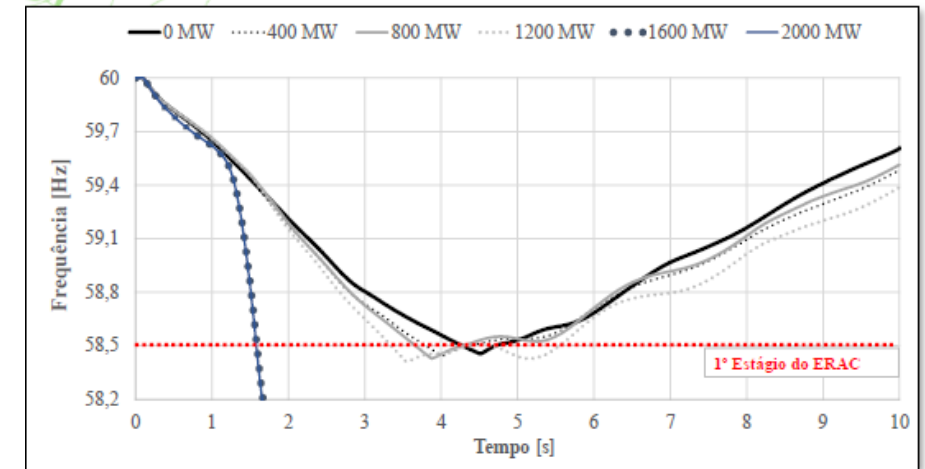
Data e Hora	Ocorrência	Inércia (GW.s)	Corte UHE Belo Monte (nº UGs. / MW)	Desconexão de UTEs (MW)	Desconexão de GDs (MW)	Corte de Carga ERAC (MW)	Freq. Mín. (Hz)
10/04/2020 22:41	Bloqueio XGET	323	5 / 2.860	460	1.000	0	58,60
28/05/2021 11:26	Bloqueio XGET	348	7 / 4.250	960	1.700	3.968	58,49

✓ **Solução:** padronizar os ajustes mínimos permissíveis para a proteção anti-ilhamento dos GDs

EVOLUÇÃO DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA POTENCIALIZAR A INSERÇÃO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA SEM IMPACTOS ADVERSOS À ESTABILIDADE DO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL

DEZEMBRO 2020

ONS DPL-RE-0317/2020



F. A. Mourinho and T. M. L. Assis, "A new approach to retrofit plans for distributed energy resources to mitigate adverse impacts on bulk power systems stability," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 20, no. 4, pp. 669-676, April 2022

Motivações: requisitos normativos – ONS DPL-RE-0317/2020

Tabela 6-1: Período mínimo que os GDs/REDs devem ser capazes de permanecerem operando com valores de frequência não nominal.

Frequência [Hz]	Suportabilidade Mínima
$f \leq 57,0$	Não exigida
$57,0 < f \leq 57,5$	5 s
$57,5 < f \leq 58,5$	20 s
$58,5 < f \leq 62,5$	Tempo ilimitado
$62,5 < f \leq 63,0$	10 s
$f > 63,0$	Não exigida

Tabela 6-2: Requisito de Suportabilidade à Taxa de Variação de Frequência para geradores síncronos distribuídos e GDs do tipo DFIG.

Taxa de Variação de Frequência*	Janela de Medição Mínima
1,0 Hz/s	100 ms

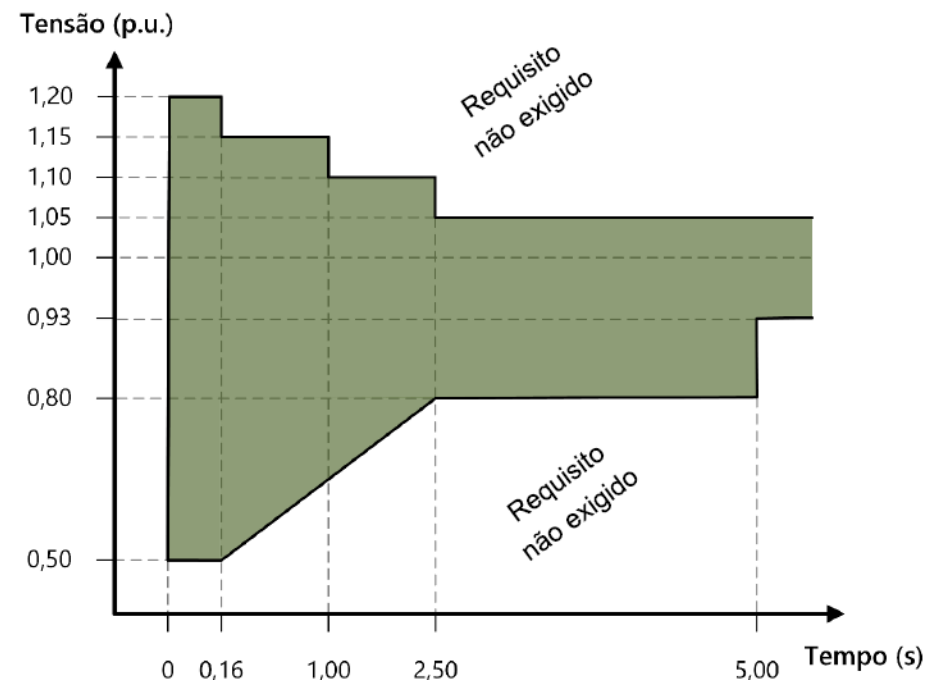
*OBS: casos especiais de conexão de GDs em sistemas de transmissão radiais deverão ser tratados com requisitos específicos, uma vez que as taxas de variação de frequência podem ser superiores a 1,0 Hz/s, causando o desligamento em cascata de GDs.

Tabela 6-3: Requisito de Suportabilidade à Taxa de Variação de Frequência para geradores distribuídos conectados via inversores.

Taxa de Variação de Frequência*	Janela de Medição Mínima
2,0 Hz/s	100 ms

*OBS: casos especiais de conexão de GDs em sistemas de transmissão radiais deverão ser tratados com requisitos específicos, uma vez que as taxas de variação de frequência podem ser superiores a 2,0 Hz/s, causando o desligamento em cascata de GDs.

Figura 6-2: Suportabilidade a subtensões e sobretensões dinâmicas no ponto de conexão dos GDs/REDs.



ONS ONS DPL-REL-0317/2020 – Evolução dos Requisitos Técnicos necessários para potencializar a inserção de Geração Distribuída sem impactos adversos à estabilidade do Sistema Interligado Nacional 43 / 54

Outras normas de interesse:

- ✓ INMETRO: Portaria 140 – GBI
- ✓ ONS: Submódulo 2.10 do ONS (Procedimentos de Rede) – AT

✓ Responder as seguintes questões:

- Questão: Os ajustes propostos são **eficientes** do ponto de vista de detecção de ilhamento?
 - Solução: Estudos intensivos e extensivos via **zonas de não detecção**
- Questão: Como **estimar** o nível de eficiência e os casos críticos ?
 - Solução: Metodologia expedita de **análise de risco**

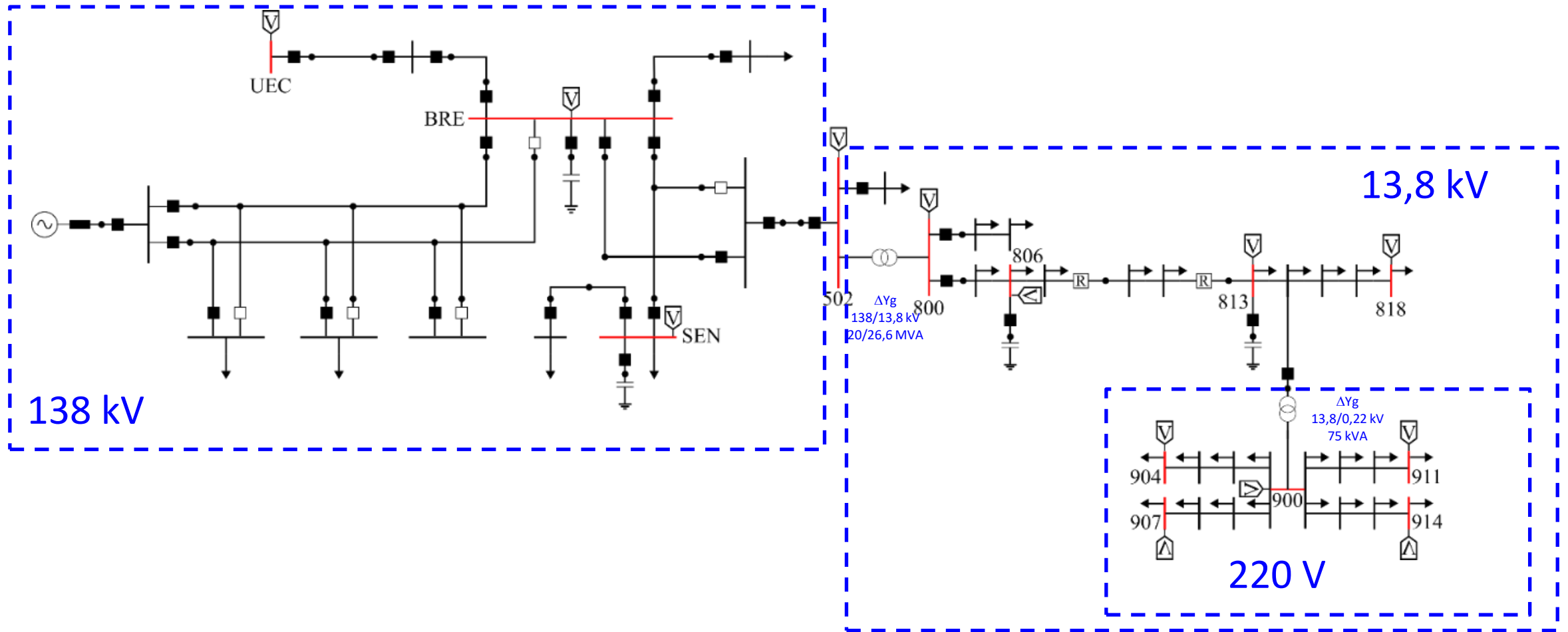
Estudos via zonas de não detecção

Casos investigados: visão geral

- ✓ Ferramenta empregada: ATP (simulação de transitórios eletromagnéticos)
- ✓ Estudo de casos: +100
- ✓ Quantidade de simulações: +20.000
- ✓ Sistemas simulados:
 - AT: 138 kV
 - MT: 13,8 kV
 - BT: 220 V
- ✓ Tecnologias simuladas:
 - Geradores síncronos (GS)
 - Geradores baseados em inversores (GBI)
- ✓ Proteções simuladas:
 - Sub/sobrefrequência: ANSI 81U/O
 - Sub/sobretensão: ANSI 27/59
 - Taxa de variação de frequência: ANSI 81R (ROCOF – Rate of Change of Frequency)
 - Proteção ativa: realimentação positiva (GBI)

Modelagem/simulação computacional: sistema elétrico

- ✓ Sistema elétrico baseado em redes reais da CPFL modelados no ATP e OpenDSS

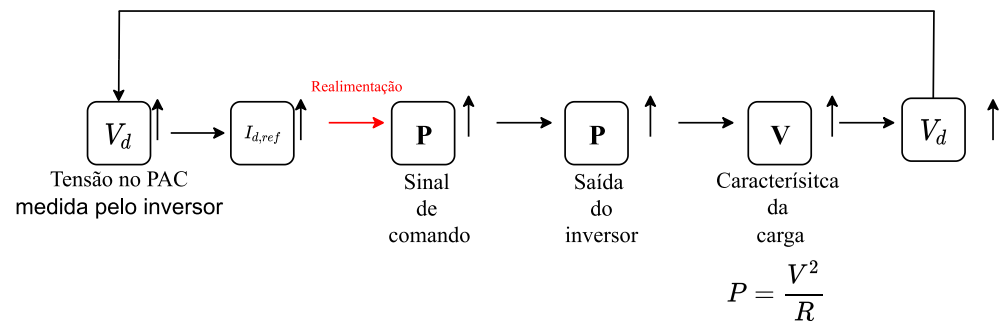


Proteção passiva (GSD/GBI):

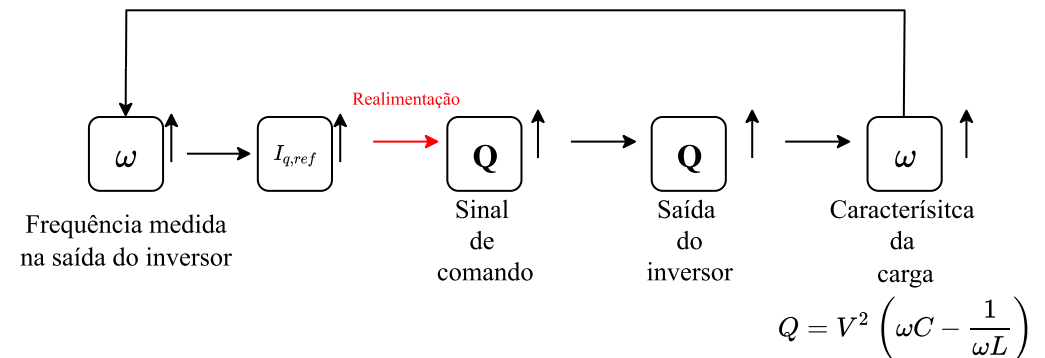
- ✓ Proteção de sub/sobrefrequência: ANSI 81U/O
- ✓ Proteção de sub/sobretensão: ANSI 27/59
- ✓ Proteção de taxa de variação de frequência: ANSI 81R

Proteção ativa (GBI):

- ✓ Proteção General Electric Voltage Scheme (GEVS)
- ✓ Proteção General Electric Frequency Scheme (GEFS)



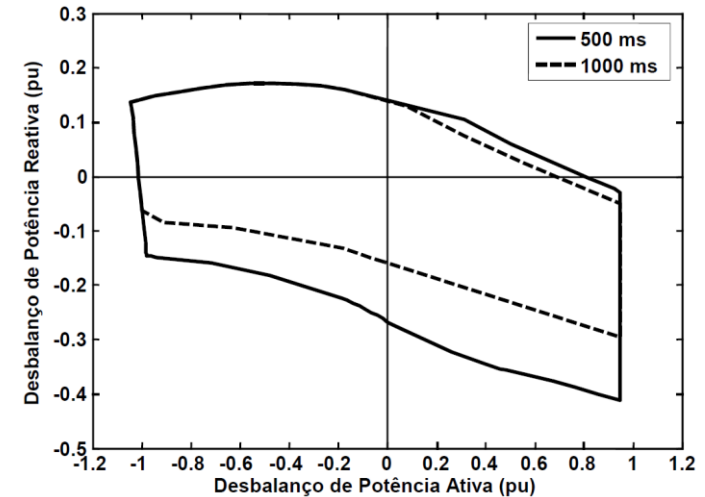
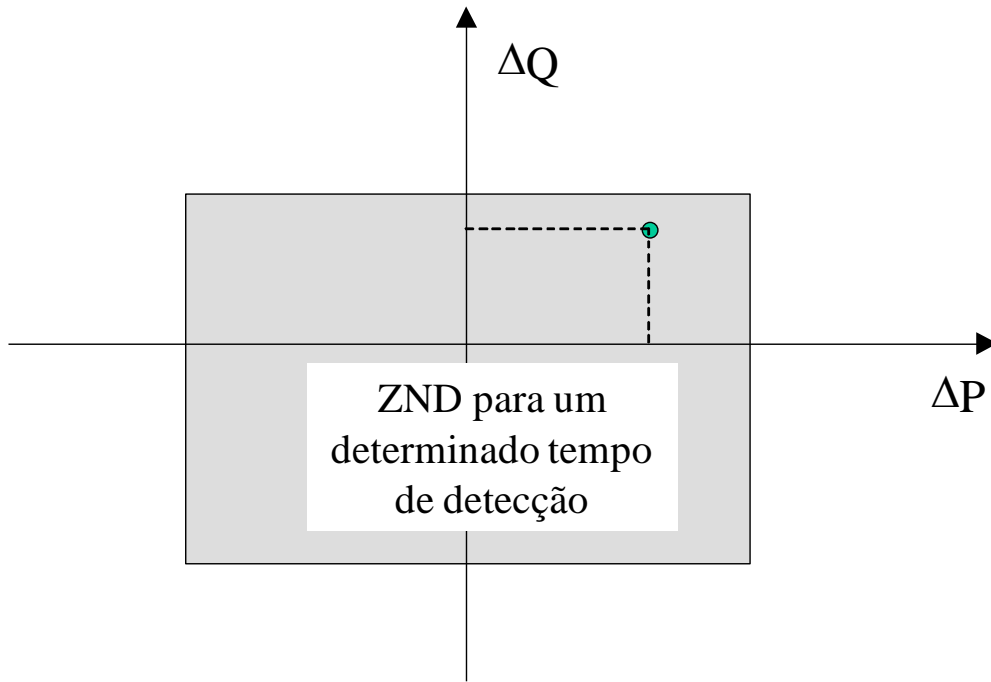
GEVS



GEFS

Modelagem/simulação computacional: Zonas de não detecção (ZND)

✓ Regiões no plano $\Delta Q \times \Delta P$ em que a proteção **falha** em detectar o ilhamento



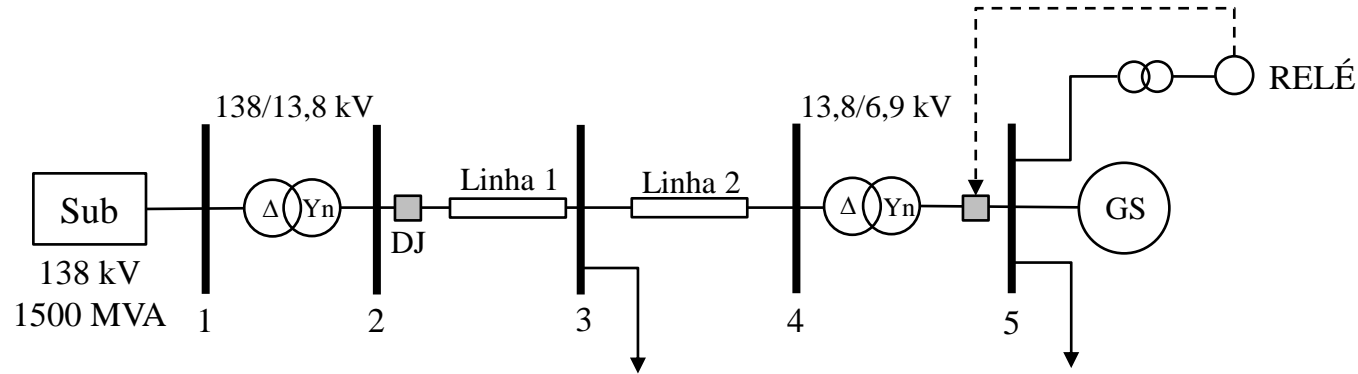
J. C. M. Vieira, "Metodologias para Ajuste e Avaliação do Desempenho de Relés de Proteção Anti-Ilhamento de Geradores Síncronos Distribuídos", Tese de doutorado, FEEC/UNICAMP, 2006

W. Xu and W. Freitas, "Islanding Risk of Synchronous Generator Based Distributed Generation Systems", The CANMET Energy Technology Centre, Canada, 2007

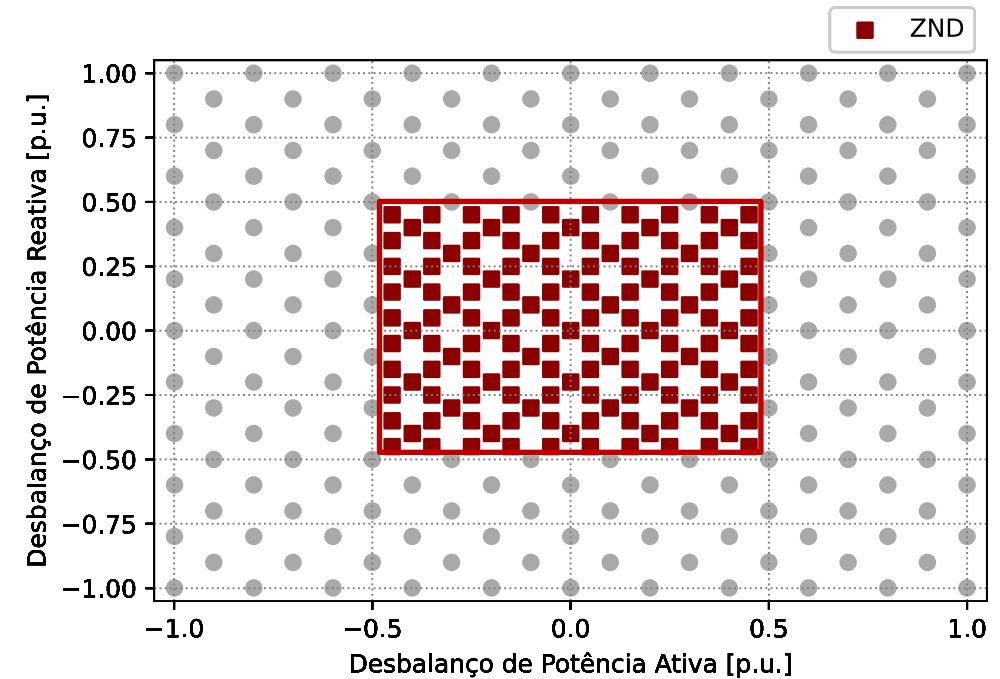
- Dependem dos **ajustes das proteções**
- Dependem do **tempo máximo requerido para a detecção do ilhamento**
- São influenciadas pelo tipo de carga, tecnologia da GD, modo de controle da GD, **inércia** (no caso de GD baseada em máquinas rotativas)

Modelagem/simulação computacional: ZND via simulações

- ✓ Mantendo o nível de geração fixo, a carga na ilha é variada com o intuito de mapear todos os quadrantes do plano $\Delta P \times \Delta Q$;



- ✓ Simulação 1: $\Delta P_1 \times \Delta Q_1$
- ✓ Simulação 2: $\Delta P_2 \times \Delta Q_2$
- ⋮
- ✓ Simulação 5: $\Delta P_5 \times \Delta Q_5$
- ⋮
- ✓ Simulação 10: $\Delta P_{10} \times \Delta Q_{10}$
- ⋮
- ✓ Simulação n: $\Delta P_n \times \Delta Q_n$



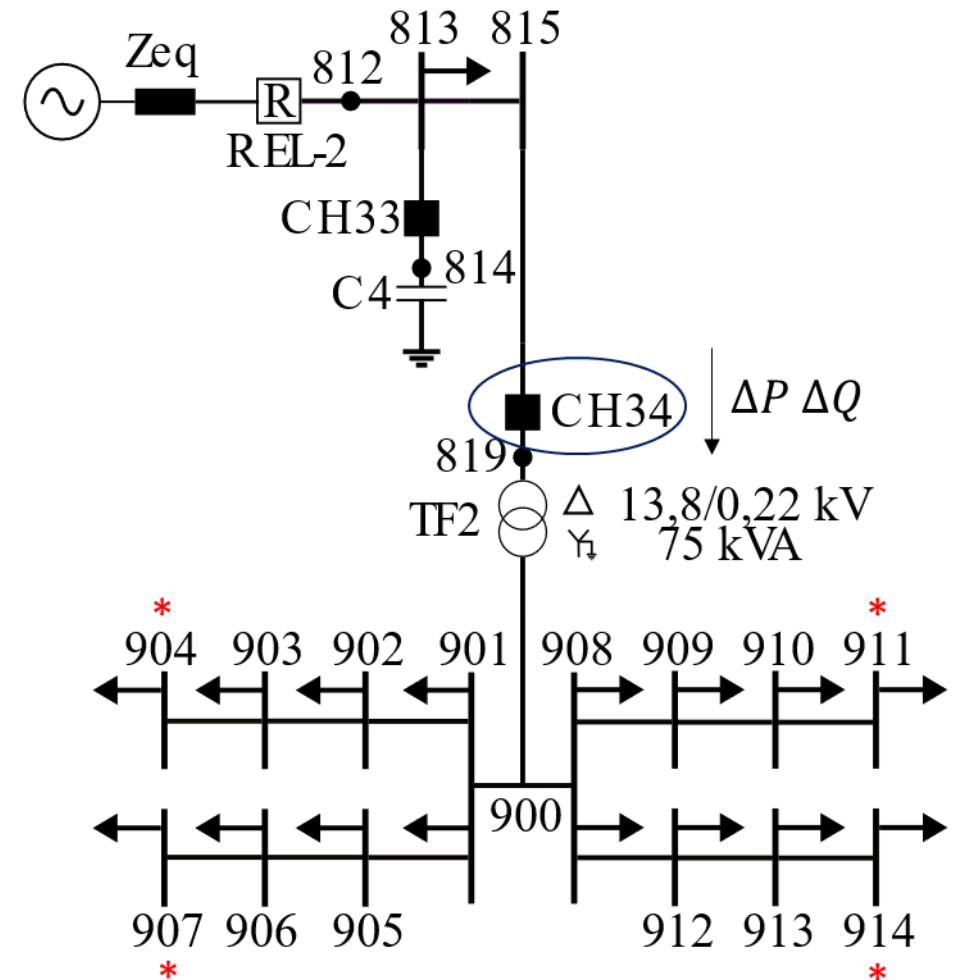
Rede elétrica: O sistema engloba BT e MT

Ilhamento em BT:

- Abertura da chave CH34
- 4 x GBIs (10 kW)*
- Técnicas passivas e técnicas ativas (GEFS e GEVS)
- Geração fixa dos GBIs em 1,0 p.u.
- Variação da carga BT

Número de casos: 1.992

Sistema Equivalente



Ajustes/funções GBI

- ✓ Foram analisadas 60+ combinações de funções e ajustes de proteção

Casos selecionados:

- ✓ #61: 81 U/O + 27/59*
- ✓ #62: #61 + 81R = 2,1 Hz/s instantâneo (GBI)*
- ✓ #64: #62 + Vbloq = 0,6 p.u. e dropout = 2,0 s (GBI)

Ajuste	Função	Ajuste	Temp.	Vbloq
#61	81U	57,0 Hz	0,0 s	-
	81O	63,1 Hz	0,0 s	-
	27	0,5 pu	0,16 s	-
	27	0,79 pu	2,5 s	-
	59	1,10 pu	2,5 s	-
	59	1,15 pu	1,0 s	-
	59	1,20 pu	0,16 s	-

* Ajustes de acordo com ONS DPL-RE-0317/2020

Técnica ativa	Máximo tempo de detecção								
	0,5 s			2 s			5 s		
	#61	#62	#64	#61	#62	#64	#61	#62	#64
Desabilitada	95,8%	99,4%	90,4%	96,4%	99,4%	90,4%	100%	100%	100%
GEFS	100%	100%	97,6%	100%	100%	97,6%	100%	100%	100%
GEVS	100%	100%	87,9%	100%	100%	89,2%	100%	100%	100%
GEFS & GEVS	100%	100%	81,9%	100%	100%	83,1%	100%	100%	100%

- ✓ #61: 81 U/O + 27/59
- ✓ #62: #61 + 81R
- ✓ #64: #62 + Vbloq. e dropout

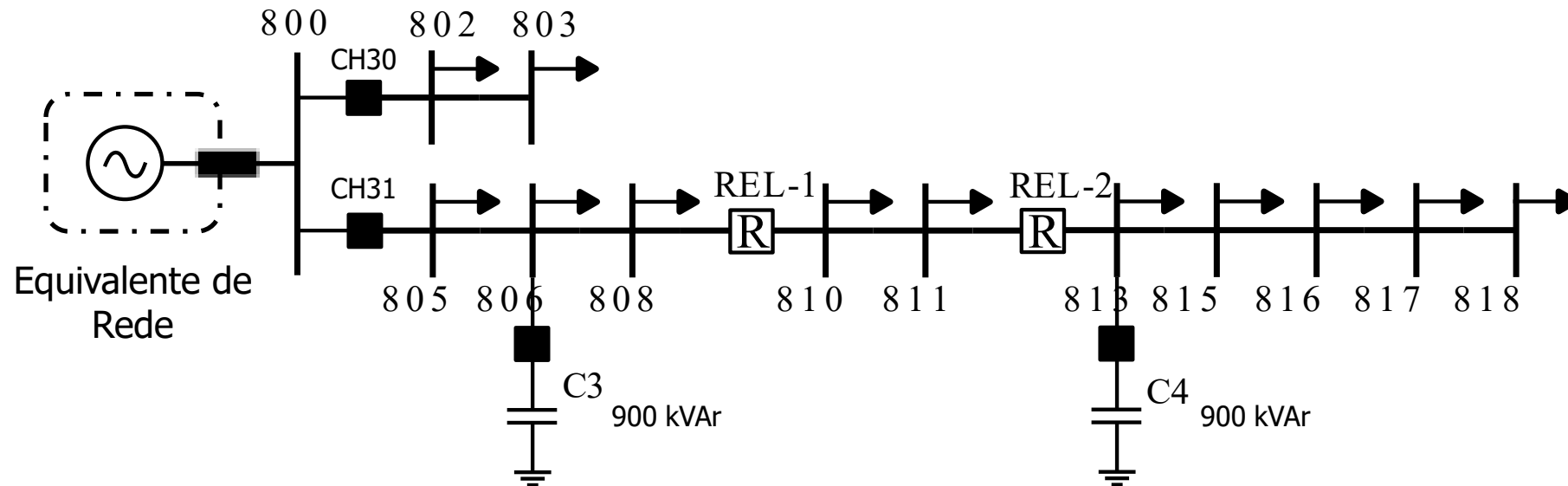
Rede elétrica: representou-se somente o sistema MT

Geradores: capacidades investigadas: 500 kVA, 2 MVA e 4 MVA

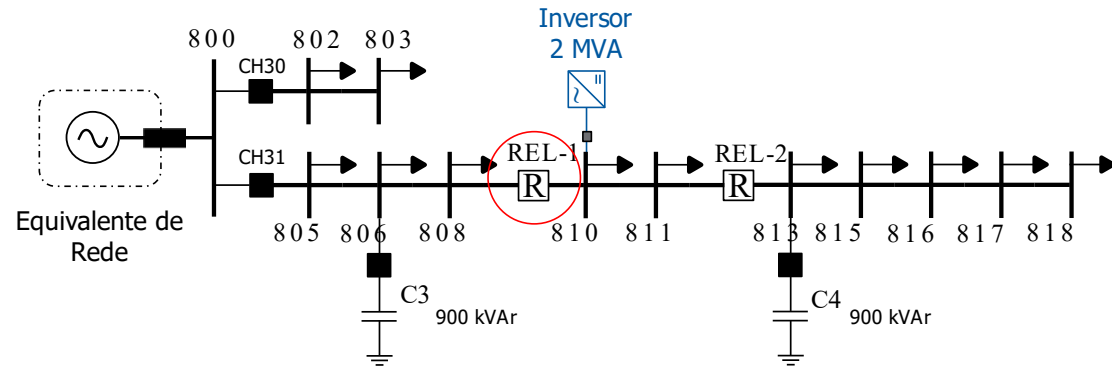
Ajuste da proteção (casos seleccionados): #61, #62, #64

Número de casos: 3.394

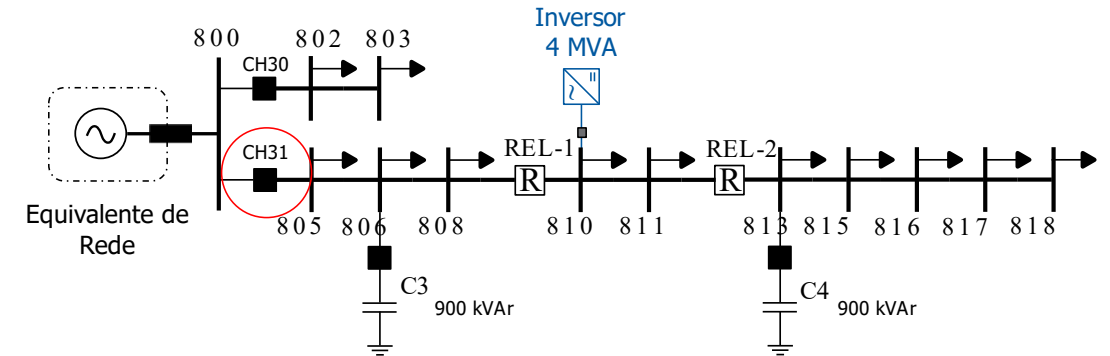
Sistema Equivalente MT



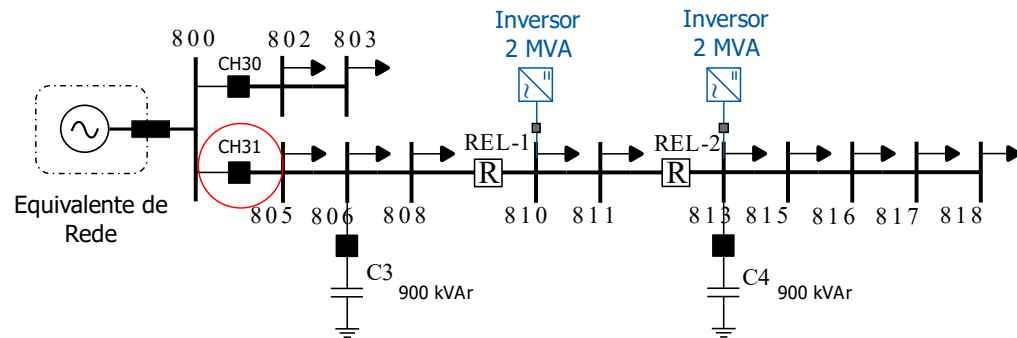
Cenário 1: um inversor de 2 MVA (abertura de REL1)



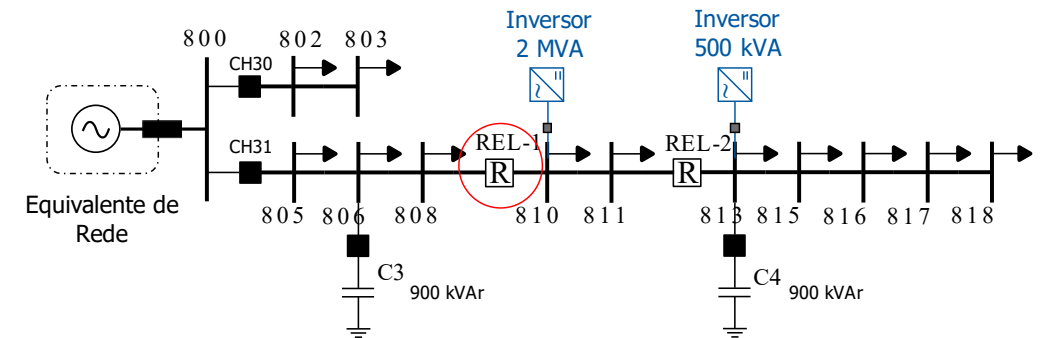
Cenário 2: um inversor de 4 MVA (abertura de CH31)



Cenário 3: dois inversores de 2 MVA (abertura de CH31)



Cenário 4: um inversor de 2 MVA e um inversor de 500 kVA (abertura de REL1)



Sistema MT/GBI: taxa de sucesso

Cenário 1: máximo tempo de detecção									
Técnica ativa	0,5 s			2 s			5 s		
	#61	#62	#64	#61	#62	#64	#61	#62	#64
Desabilitada	95,7%	99,6%	95,7%	96,5%	99,6%	95,7%	98,1%	99,6%	99,6%
Desabilitada (C4 descon.)	100%	100%	90,4%	100%	100%	91,5%	100%	100%	100%
GEFS	100%	100%	96,5%	100%	100%	96,9%	100%	100%	100%
GEVS	100%	100%	73,6%	100%	100%	73,6%	100%	100%	99,2%
Cenário 2: máximo tempo de detecção									
Técnica ativa	0,5 s			2 s			5 s		
	#61	#62	#64	#61	#62	#64	#61	#62	#64
GEFS	100%	100%	96,1%	100%	100%	97,2%	100%	100%	100%
GEVS	100%	100%	71,9%	100%	100%	72,3%	100%	100%	99,2%

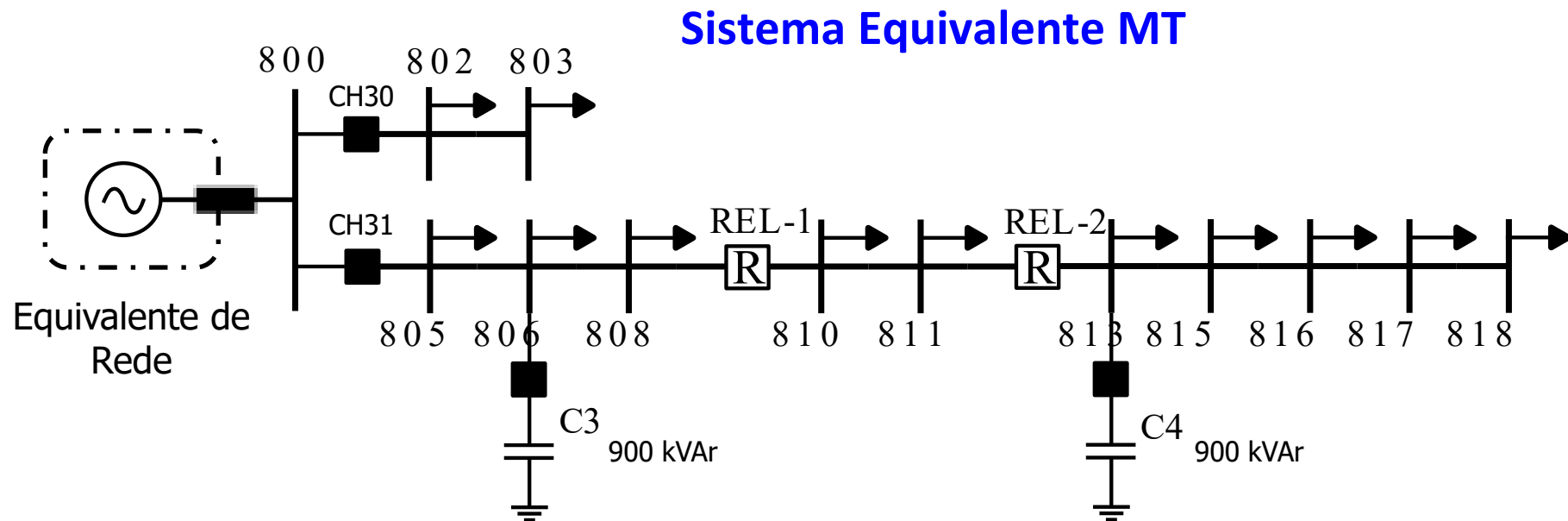
Cenário 3: máximo tempo de detecção									
Técnica ativa	0,5 s			2 s			5 s		
	#61	#62	#64	#61	#62	#64	#61	#62	#64
GBI1 (GEFS) GBI2 (GEFS)	100%	100%	96,0%	100%	100%	97,2%	100%	100%	100%
GBI1 (GEFS) GBI2 (GEVS)	100%	100%	77,6%	100%	100%	78,0%	100%	100%	99,2%
GBI1 (GEVS) GBI2 (GEFS)	100%	100%	78,4%	100%	100%	78,8%	100%	100%	99,2%
GBI1 (GEVS) GBI2 (GEVS)	100%	100%	71,6%	100%	100%	72,4%	100%	100%	98,8%
Cenário 4: máximo tempo de detecção									
Técnica ativa	0,5 s			2 s			5 s		
	#61	#62	#64	#61	#62	#64	#61	#62	#64
GEFS	100%	100%	96,1%	100%	100%	97,2%	100%	100%	100%
GBI1 (GEFS) GBI2 (GEVS)	100%	100%	88,2%	100%	100%	88,2%	100%	100%	100%
GBI1 (GEVS) GBI2 (GEFS)	100%	100%	96,6%	100%	100%	96,6%	100%	100%	100%
GBI1 (GEVS) GBI2 (GEVS)	100%	100%	77,6%	100%	100%	77,6%	100%	100%	99,6%

- ✓ #61: 81 U/O + 27/59
- ✓ #62: #61 + 81R
- ✓ #64: #62 + Vbloq. e dropout

Cenários:

- ✓ **Cenário 1:** 1 GSD conectado ao fim do ramal de MT (inércia nominal = 0,4182 s)
- ✓ **Cenário 2:** idem ao cenário 1 com o dobro da inércia nominal (inércia 200%)
- ✓ **Cenário 3:** idem ao cenário 1 com metade da inércia nominal (inércia 50%)
- ✓ **Cenário 4:** 2 GSDs conectados ao fim do ramal de MT
- ✓ **Cenário 5:** 2 GSDs conectados em pontos diferentes da rede MT (Barras 818 e 813)

Número de casos: 1.450



Ajustes/funções GSD

- ✓ Foram analisadas 60+ combinações de funções e ajustes de proteção

Casos selecionados:

- ✓ #61: 81 U/O + 27/59*
- ✓ #63: #61 + 81R = 1,1 Hz/s instantâneo (GSD)*
- ✓ #65: #63 + Vbloq = 0,6 p.u. e dropout = 2,0 s (GSD)

Ajuste	Função	Ajuste	Temp.	Vbloq
#61	81U	57,0 Hz	0,0 s	-
	81O	63,1 Hz	0,0 s	-
	27	0,50 pu	0,16 s	-
	27	0,79 pu	2,5 s	-
	59	1,10 pu	2,5 s	-
	59	1,15 pu	1,0 s	-
	59	1,20 pu	0,16 s	-

* Ajustes de acordo com ONS DPL-RE-0317/2020

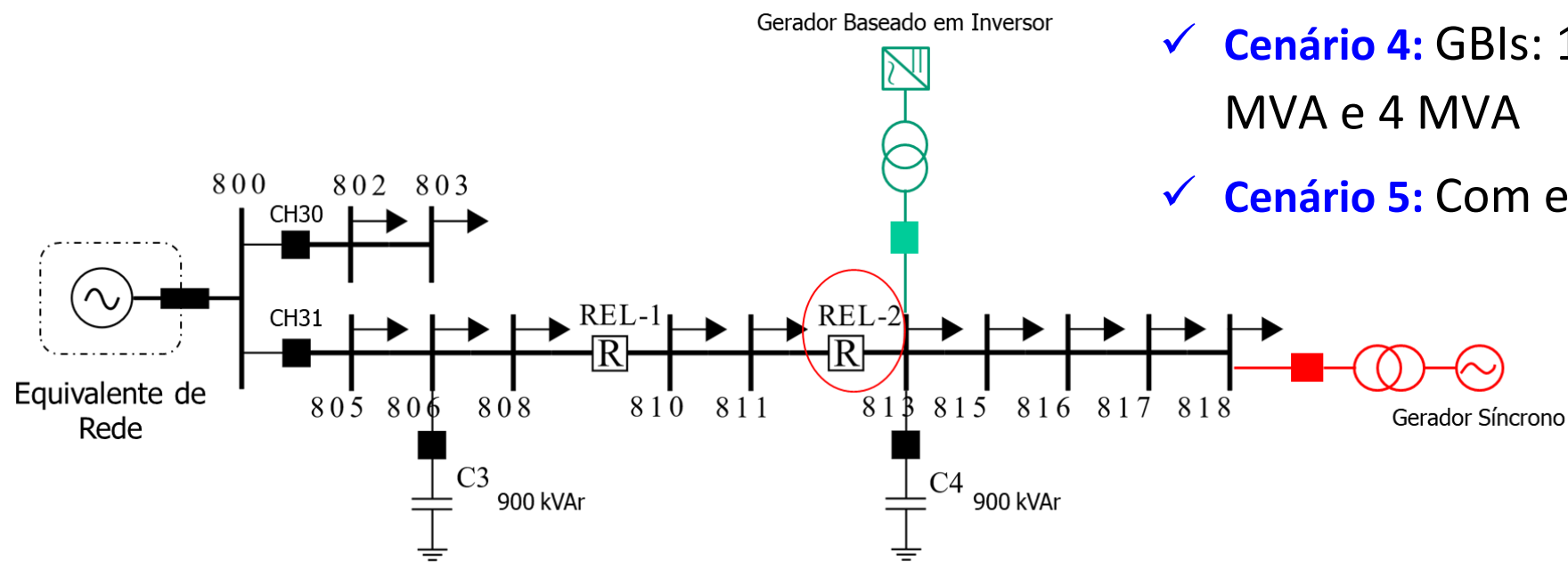
Cenário	Máximo tempo de detecção								
	0,5 s			2 s			5 s		
	#61	#63	#65	#61	#63	#65	#61	#63	#65
1	83,0%	100%	100%	99,5%	100%	100%	100%	100%	100%
2	78,9%	99,6%	99,6%	98,9%	100%	100%	100%	100%	100%
3	86,5%	100%	100%	99,5%	100%	100%	100%	100%	100%
4	83,6%	100%	100%	98,8%	100%	100%	100%	100%	100%
5	82,8%	100%	100%	99,4%	100%	100%	100%	100%	100%

- ✓ #61: 81 U/O + 27/59
- ✓ #63: #61 + 81R
- ✓ #65: #63 + Vbloq e dropout

Rede elétrica: representou-se somente o sistema MT

Ajuste da proteção (casos selecionados): #61, #62, #63, #64 e #65:

Número de casos: 7340



Cenários:

- ✓ **Cenário 1:** GBIs (400 kVA) + 1 x GSH (1,562 MVA)
- ✓ **Cenário 2:** GBIs (2000 kVA) + 2 x GSH (1,562 MVA)
- ✓ **Cenário 3:** GBIs (400- kVA) + 1 x GSH (1,562 MVA) + 1 x GSV (1,112 MVA)
- ✓ **Cenário 4:** GBIs: 100 kVA, 400 kVA, 1 MVA, 2 MVA e 4 MVA
- ✓ **Cenário 5:** Com e sem banco de capacitores

Sistema MT/GSD+GBI: taxa de sucesso

Ajustes	Cenário 1: máximo tempo de detecção		
	0,5 segundos	2 segundos	5 segundos
#61 (GBI)	61,5%	95,8%	99,2%
#62 (GBI)	95,8%	99,2%	99,2%
#63 (GSD)	100%	100%	100%
#64 (GBI)	94,1%	97,9%	99,2%
#65 (GSD)	98,7%	99,2%	100%

Ajustes	Cenário 2: máximo tempo de detecção		
	0,5 segundos	2 segundos	5 segundos
#61 (GBI)	83,8%	99,0%	99,0%
#62 (GBI)	98,5%	99,5%	99,5%
#63 (GSD)	100%	100%	100%
#64 (GBI)	90,9%	99,0%	99,5%
#65 (GSD)	96,4%	100%	100%

Ajustes	Cenário 3: máximo tempo de detecção		
	0,5 segundos	2 segundos	5 segundos
#61 (GBI)	89,7%	100%	100%
#62 (GBI)	100%	100%	100%
#63 (GSD)	100%	100%	100%
#64 (GBI)	96,6%	100%	100%
#65 (GSD)	97,4%	100%	100%

Ajustes	Cenário 4: máximo tempo de detecção		
	0,5 segundos	2 segundos	5 segundos
#61 (GBI)	86,6%	99,1%	99,1%
#62 (GBI)	100%	100%	100%
#63 (GSD)	100%	100%	100%
#64 (GBI)	94,5%	98,6%	100%
#65 (GSD)	97,7%	99,1%	100%

Ajustes	Cenário 5: máximo tempo de detecção		
	0,5 segundos	2 segundos	5 segundos
#61 (GBI)	100%	100%	100%
#62 (GBI)	100%	100%	100%
#63 (GSD)	100%	100%	100%
#64 (GBI)	98,6%	98,6%	100%
#65 (GSD)	99,1%	99,1%	100%

GBI

- ✓ #61: 81 U/O + 27/59
- ✓ #62: #61 + 81R
- ✓ #64: #62 + Vbloq. e dropout

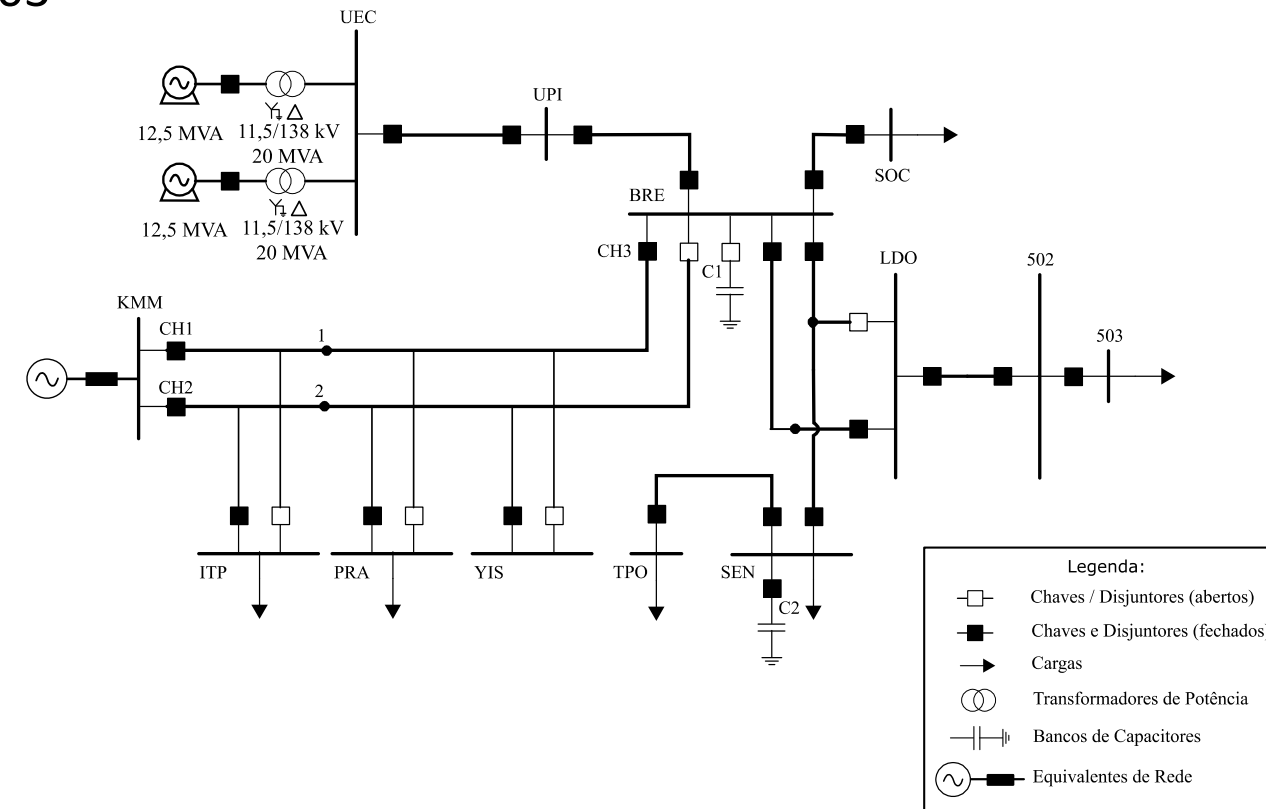
GSD

- ✓ #61: 81 U/O + 27/59
- ✓ #63: #61 + 81R
- ✓ #65: #63 + Vbloq e dropout

Sistema:

- ✓ Carga equivalente dos sistemas MT e BT na barra 503
- ✓ Carga total: 81,71 MW e 30 Mvar;
- ✓ Capacitor C1 desconectado;
- ✓ Tensão subestação: 1,00
- ✓ Caso Base:
 - Carga ilha: 53,51 MW e 17,88 Mvar
 - 2 Geradores a vapor de 12 MVA ($H = 2$ s)
 - Barra de conexão – UEC
 - Controle de potência ativa
 - Turbina a vapor (GSV)
 - Turbina hidráulica (GSH)
 - Controle de potência reativa:
 - Excitatriz - ST1C
 - Ilhamento: abertura da chave CH3
- ✓ **Número de casos:** 3220

Sistema Equivalente AT



Casos selecionados:

- ✓ #61: 81 U/O + 27/59
- ✓ #63: #61 + 81R = 1,1 Hz/s instantâneo
- ✓ #65: #63 + Vbloq = 0,6 p.u. e dropout = 2,0 s

Caso	Máximo tempo de detecção								
	0,5 s			2 s			5 s		
	#61	#63	#65	#61	#63	#65	#61	#63	#65
Base	45,8%	96,3%	96,3%	93,8%	99,7%	99,7%	99,4%	99,7%	99,7%
Redução da Inércia	65,3%	99,4%	99,4%	97,7%	100%	100%	99,4%	100%	100%
Aumento da Inércia	24,6%	88,2%	88,2%	86,9%	99,1%	99,1%	98,8%	99,4%	99,4%
GS Hidráulico	35,2%	94,1%	94,1%	91,3%	99,1%	99,1%	99,1%	99,4%	99,4%

Comentários

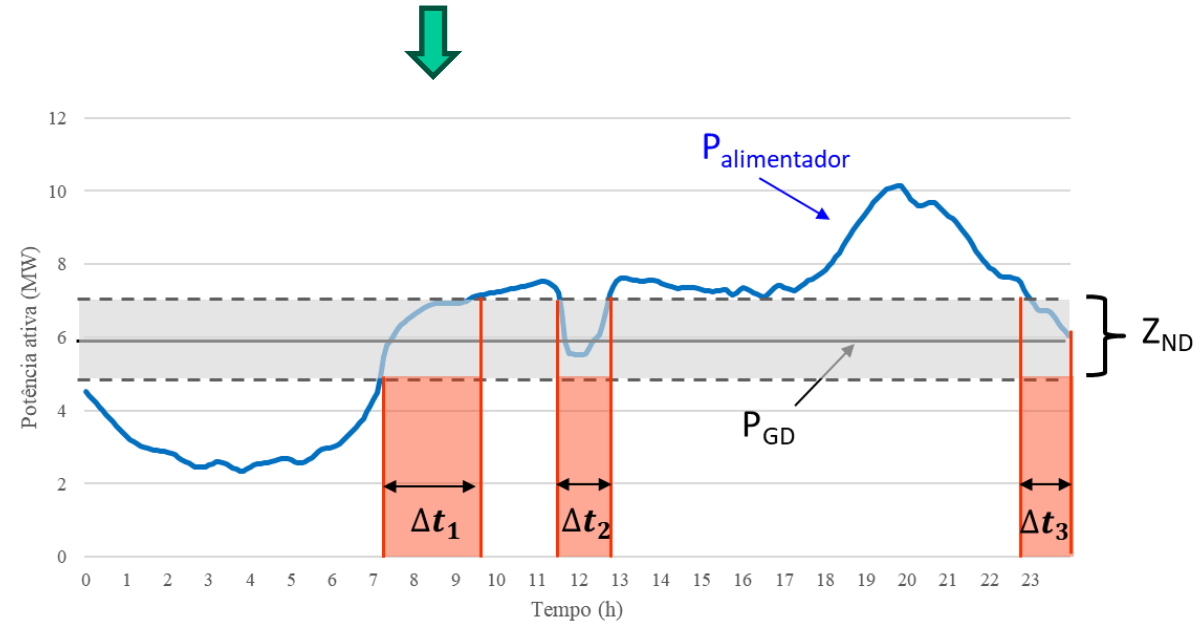
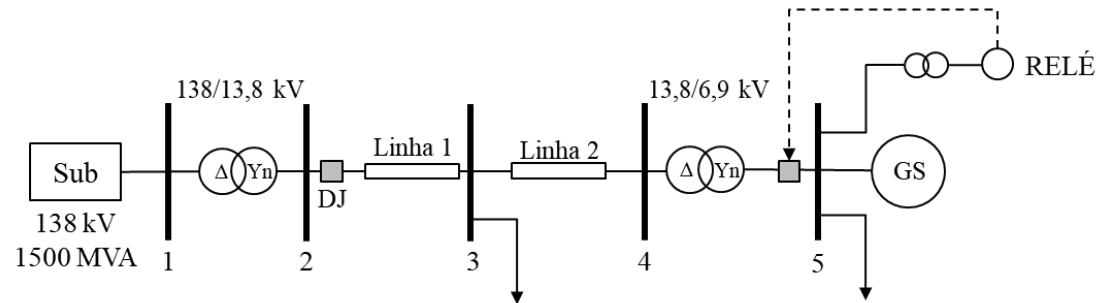
- ✓ Número de casos: +20.000 (ATP)
- ✓ Ajustes [ONS DPL-RE-0317/2020](#):
 - Tempo de detecção (reliador)
 - 500 ms: possibilidade de falha: superior (sobretudo em casos com GS)
 - 2 s: possibilidade de falha: média
 - 5 s: possibilidade de falha: inferior
 - Pontos de atenção:
 - ROCOF melhora a capacidade de detecção
 - exigência de religamento rápido em redes ATs (e.g., 250 ms) com GSD
 - constante de inércia (GSD de maior porte)
 - tensão de bloqueio (ajuste não padronizado)

Importante:

- ✓ Consequências do atraso da tentativa de religamento em outros fatores técnicos não foram analisados (e.g., proteção 59N em subestação AT/MT)
- ✓ O valores aprovados pela [ANEEL em 03/10/2023](#) para suportabilidade de tensão diferem dos valores proposto em [ONS DPL-RE-0317/2020](#)

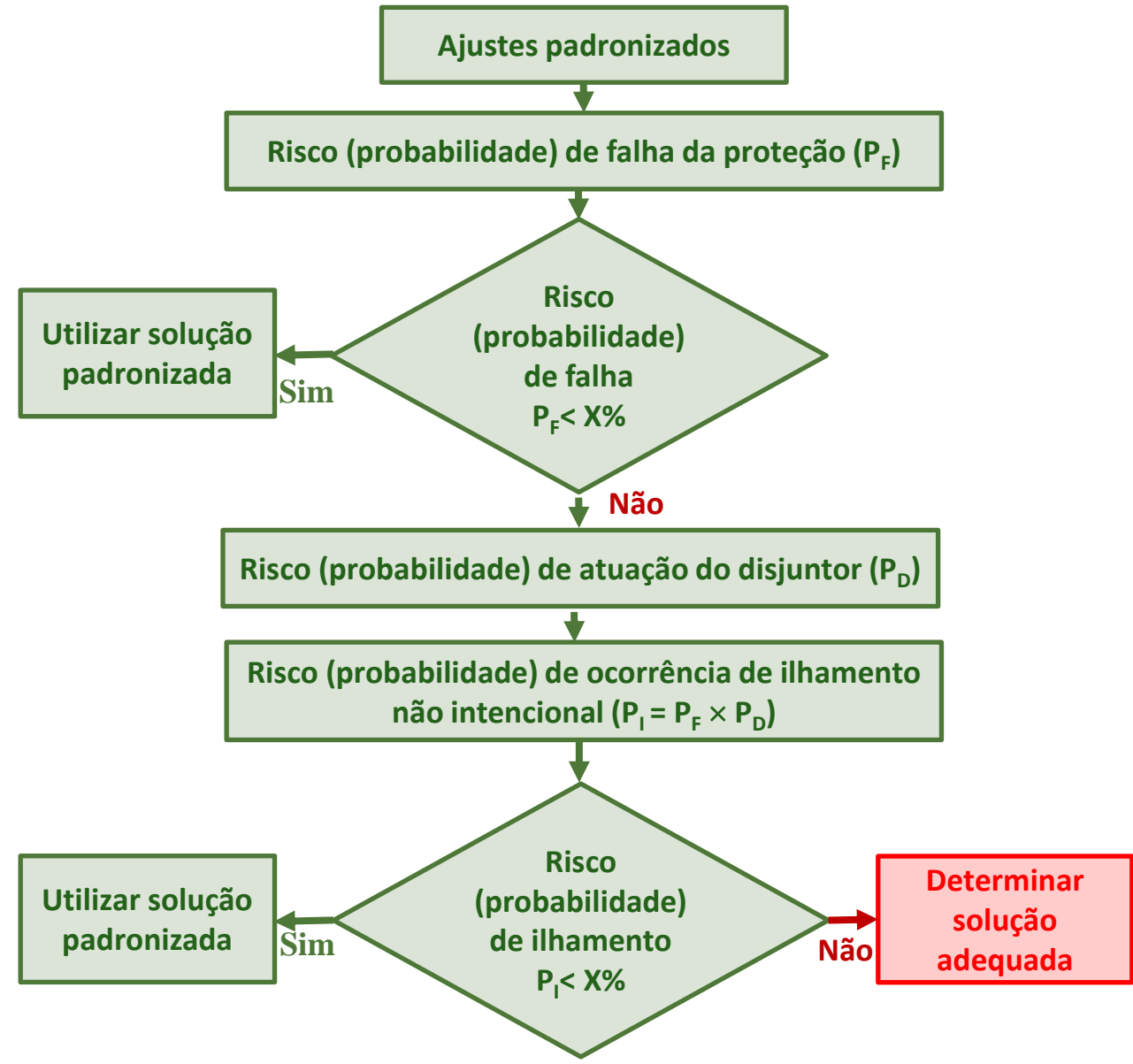
Metodologia de análise de risco

Metodologia de análise de risco



$$P_F = \frac{\Delta t_{ND}}{T} \times 100\%$$

$$\Delta t_{ND} = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3$$



Implementação:

- ✓ Determine a zona de não detecção (ΔP_1 , ΔP_2 , ΔQ_1 , ΔQ_2)
- ✓ Obtenha os valores de medição de potência ativa e reativa no disjuntor da subestação durante 1 ano
- ✓ Obtenha o risco (probabilidade) de falha da proteção de ilhamento:

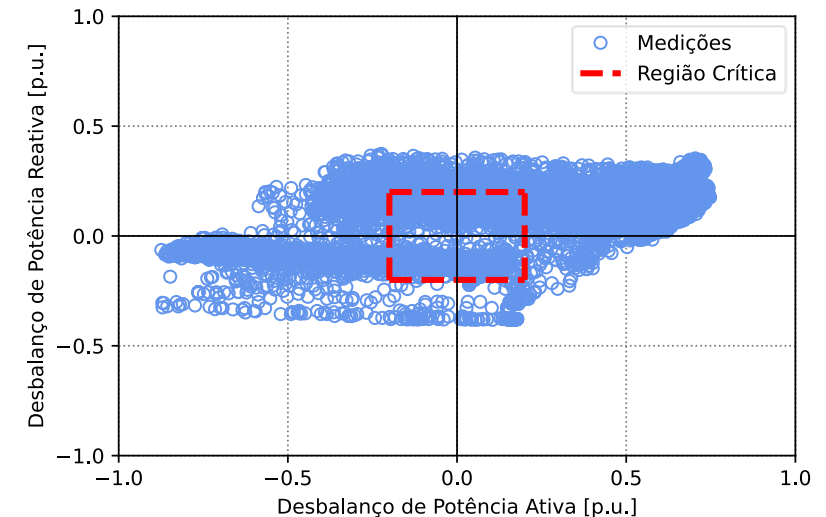
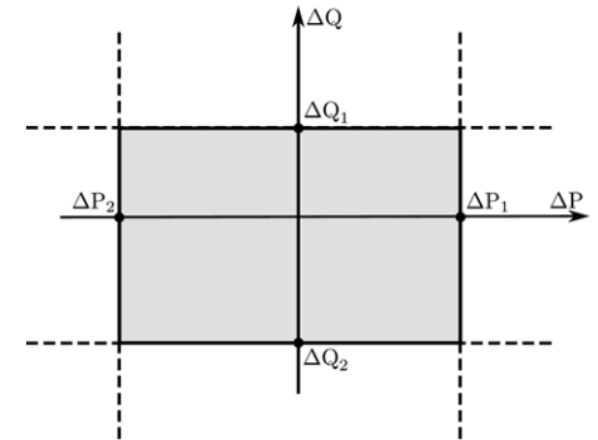
$$P_F = \text{número de pontos dentro da ZND} / \text{número de pontos de medições}$$

- ✓ Determine o número de atuações automáticas do disjuntor da subestação durante 1 ano
- ✓ Obtenha o risco (probabilidade) de atuação do disjuntor da subestação:

$$P_D = \text{número de atuações} / \text{número de pontos de medições}$$

- ✓ Calcule o risco (probabilidade) de ocorrência de ilhamento não intencional:

$$P_I = P_F \times P_D$$

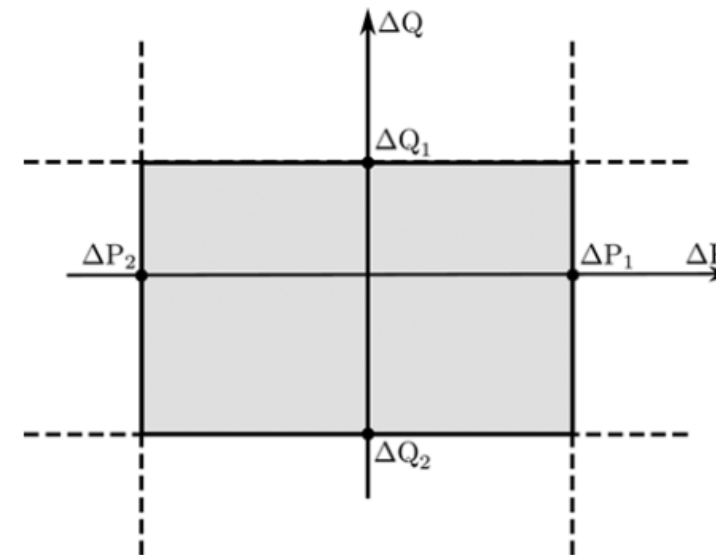


Dificuldade:

- ✓ Como determinar a zona de não detecção (ΔP_1 , ΔP_2 , ΔQ_1 , ΔQ_2)
 - **Problema:** obtenção via simulação é dispendiosa
 - **Solução:** metodologia analítica (expedita)

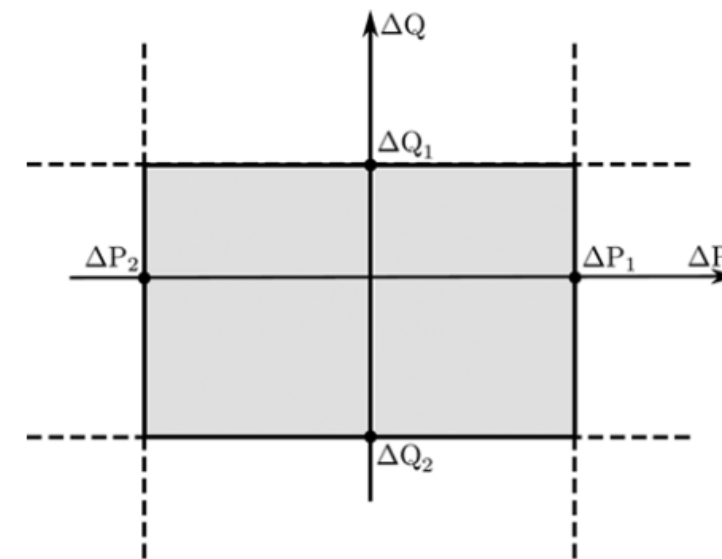
Comentários:

- ✓ Devem ser considerados somente os pontos de medição durante período usual de operação do gerador (*e.g.*, no caso de **geradores fotovoltaicos das 7h às 18h**)
- ✓ Devem ser consideradas, quando existentes, as atuações de **religadores** de meio rede



$$0,4767 \left[\left(\frac{V}{V_{max}} \right)^2 - 1 \right] \leq \frac{\Delta P}{P} \leq 0,7488 \left[\left(\frac{V}{V_{min}} \right)^2 - 1 \right]$$

$$0,3016 \times Q_f \cdot \left[1 - \left(\frac{f}{f_{min}} \right)^2 \right] \leq \frac{\Delta Q}{P} \leq 0,2846 \times Q_f \cdot \left[1 - \left(\frac{f}{f_{max}} \right)^2 \right]$$



Em que:

ΔP : desbalanço de potência ativa

ΔQ : desbalanço de potência reativa

P : potência ativa do gerador distribuído

V : tensão nominal do sistema

f : frequência nominal do sistema

Q_f : fator de qualidade da carga

V_{min}/V_{max} : ajustes associados ao relé de sub e sobretensão, respectivamente

f_{min}/f_{max} : ajustes associados ao relé de sub e sobrefrequência, respectivamente

Limites ΔP_2 e ΔP_1 : equações dinâmicas da frequência;

✓ sub/sobrefrequência (81UO):
$$\Delta P = \frac{2H\beta}{f_0(t_d - \Delta t)}$$

✓ taxa de variação da frequência (81R):
$$\Delta P = \frac{2H}{f_0} \beta \left(1 - e^{-\frac{(t_d - \Delta t)}{T_f}} \right)^{-1}$$

Limites ΔQ_2 e ΔQ_1 : Equações algébricas de tensão

✓ sub/sobretensão (27/59):
$$V_t = V_0 X_e \left[\frac{1}{X_{dt}} + \left(\frac{1}{X'_{dt}} - \frac{1}{X_{dt}} \right) e^{\frac{-t_d}{T'_{dt}}} + \left(\frac{1}{X''_{dt}} - \frac{1}{X'_{dt}} \right) e^{\frac{-t_d}{T''_{dt}}} \right]$$

$$V_0^{new} = abs \left[V_{SYS} + (R_{eq} + jX_{eq}) \left(-\frac{V_{SYS}}{R_{eq} + j(X_{eq} + X_e)} \right) \right]$$

Obs.: no caso da proteção de tensão é necessário um método iterativo

ZND: Acurácia dos métodos analíticos

- ✓ **Acurácia:** representa a taxa geral de acertos das equações analíticas, levando em consideração tanto os casos de desbalanços que fazem parte da ZND quanto os que não fazem;
- ✓ Ajustes: ONS DPL-RE-0317/2020

Ajustes selecionados:

- ✓ #61
- ✓ #62: #61 + 81R = 2,1 Hz/s instantâneo (GBI)
- ✓ #63: #61 + 81R = 1,1 Hz/s instantâneo (GSD)

Ajuste	Função	Ajuste	Temp.	Vbloq
#61	81U	57,0 Hz	0,0 s	-
	81O	63,1 Hz	0,0 s	-
	27	0,5 pu	0,16 s	-
	27	0,79 pu	2,5 s	-
	59	1,10 pu	2,5 s	-
	59	1,15 pu	1,0 s	-
	59	1,2 pu	0,16 s	-

#61, #62, #63

Tempo Máximo para Detecção do Ilhamento	Tipo da GD	Acurácia
500 ms	GBI	90% – 95%
	GSD	76% - 87%
2 seg.	GBI	90% - 96%
	GSD	83% - 88%
5 seg.	GBI	94% – 98%
	GSD	97% - 98%

Risco de falha (P_F): estudo de casos GBI - análise sem técnica ativa

- ✓ Alimentador 1: 13,8 kV / GBI fotovoltaico 4,9 MW;
 - 31.584 medições / 329 dias distintos (2022)

Ajuste	Método preciso			Método analítico (GBI)		
	500 ms	2 s	5 s	500 ms	2 s	5 s
#61	1%	1%	0%	0%	0%	0%
#62	0%	0%	0%	0%	0%	0%
#63	0%	0%	0%	0%	0%	0%
#64	1%	1%	0%	0%	0%	0%
#65	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Nota: método analítico para GBI não inclui 81R e bloqueio por subtensão

- ✓ Alimentador 2: 11,9 kV / GBI fotovoltaico 3,5 MW
 - 27.264 medições / 284 dias distintos (2022)

Ajuste	Método preciso			Método Analítico (GBI)		
	500 ms	2 s	5 s	500 ms	2 s	5 s
#61	0%	0%	0%	0%	0%	0%
#62	0%	0%	0%	0%	0%	0%
#63	0%	0%	0%	0%	0%	0%
#64	0%	0%	0%	0%	0%	0%
#65	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Nota: método analítico para GBI não inclui 81R e bloqueio por subtensão

- ✓ Alimentador 3: 13,8 kV / GBI fotovoltaico 5 MW;
 - 33.504 medições / 349 dias distintos (2022);

Ajuste	Método preciso			Método Analítico (GBI)		
	500 ms	2 s	5 s	500 ms	2 s	5 s
#61	2%	2%	1%	8%	8%	7%
#62	0%	0%	0%	8%	8%	7%
#63	0%	0%	0%	8%	8%	7%
#64	0%	0%	0%	8%	8%	7%
#65	0%	0%	0%	8%	8%	7%

Nota: método analítico para GBI não inclui 81R e bloqueio por subtensão

Risco de falha (P_F): estudo de casos GSD

- ✓ Alimentador 4: tensão de 11,9 kV e possui GSD com potência nominal de 17,25 MVA
 - 9.598 medições em 101 dias distintos ao longo do ano de 2022;

Ajuste	Método preciso			Método Analítico (GSD)		
	500 ms	2 s	5 s	500 ms	2 s	5 s
#61	100%	2%	1%	100%	1%	0%
#62	2%	0%	0%	3%	1%	0%
#63	0%	0%	0%	0%	0%	0%
#64	2%	0%	0%	3%	1%	0%
#65	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Nota: método analítico não inclui bloqueio por subtensão

✓ Metodologia de análise de risco:

- Metodologia permite **estimar o nível de eficiência** (probabilidade de ocorrência de ilhamento não intencional) da proteção anti-ilhamento para casos específicos
- **Método analítico** mostrou-se adequado para determinar de forma expedita a eficiência do ajuste de proteção

✓ Próximas etapas

- **Investigar alternativas padronizadas para casos críticos**
- Verificar a influência das curvas de regulação volt-var, volt-watt, hertz-watt no risco de ocorrência de ilhamento não intencional
- Propor texto, caso a ANEEL achar conveniente, para **publicação de nota técnica orientativa sobre proteção anti-ilhamento**

Gratos



Heliton de Oliveira Vilibor
hdeoliveira@cpfl.com.br



Walmir Freitas
walmir@unicamp.br



José Carlos de Melo Vieira Jr
jcarlos@sc.usp.br



Daniel Motter
daniel.motter@unioeste.br



Tiago Ricciardi
tiago.ricciardi@eraenergy.com.br

