



Critérios de Segurança e sua Aplicação na Operação do SIN (Sistema Elétrico Brasileiro)

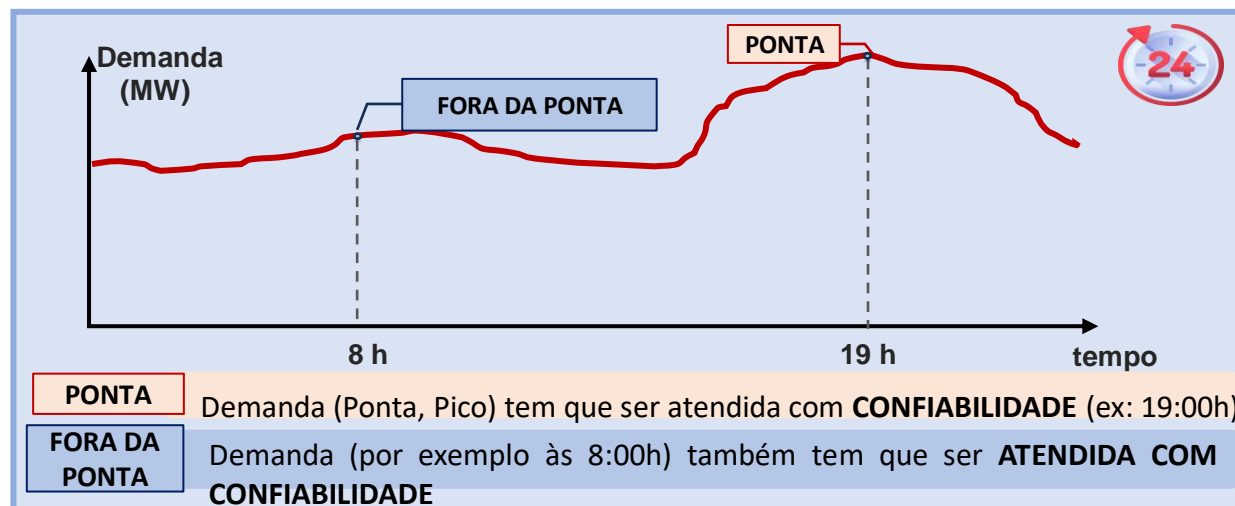
1. O problema a ser endereçado



$$\text{CONFIABILIDADE} = \text{ADEQUACIDADE} + \text{SEGURANÇA}$$

Atualmente o SIN opera com critérios no que diz respeito à **ADEQUACIDADE** (critério CNPE 29/2019)

Probabilidade de Perda de Carga $\leq 5\%$
Profundidade de Corte de Carga $\leq 5\%$



Porém para que o SIN opere com confiabilidade, deve-se também buscar atender critérios de **SEGURANÇA**, ou seja, o Sistema deve suportar emergências, mantendo a estabilidade de frequência/angular e de tensão

2. Objetivos Principais deste Trabalho

- 1 Propor critérios mínimos de estabilidade de f , Θ e V no contexto de alta inserção de fontes assíncronas (baseadas em inversores)
- 2 Propor indicadores de risco de instabilidade no SIN que facilitem o planejamento da operação, bem como a operação em Tempo Real do SIN
- 3 Mostrar que o acionamento de máquinas síncronas (térmicas) nos momentos que operador identificar violação (ou tendência de) dos indicadores, pode ser a medida mais eficaz para garantir a retomada da operação em condições de segurança do Sistema.

Com o aumento da oferta de Térmicas Flexíveis o Operador poderá explorar melhor os recursos do SIN lançando mão do redespacho inteligente dessas máquinas síncronas para garantir a operação segura do Sistema

3. Metodologia Utilizada

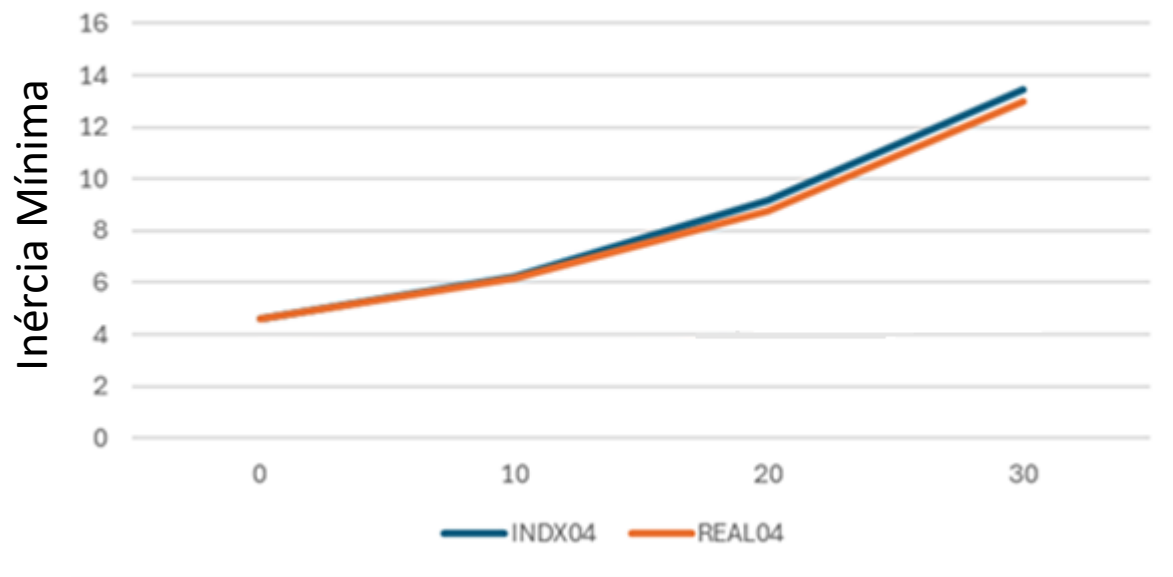
- **Simulações com o Programa *Organon*, desenvolvido pela HPPA, e utilizado pelo ONS**
- **Simulações em sistemas de pequeno porte (emulando o SIN)**
- **Aplicação dos resultados no SIN**

4.1 Resultados preliminares – Estabilidade de frequência

Inércia Mínima



Inércia Mínima x %IBR com Correção



Nível de Penetração

Nível de Penetração [%]	Hmin / submercado [s]
0	4,5
10	6
20	9
30	13,5
> 30	Possibilidade de instabilidade

Quanto maior o nível de penetração das renováveis, mais inércia é necessária para manter a estabilidade do sistema. O índice INDX04 é adequado para indicar o volume de inércia necessária para cada nível de penetração de máquinas não síncronas

4.2 Resultados preliminares – Estabilidade de tensão



- ❖ Foi pesquisado um índice próprio para subsistemas (regiões), que demonstrou ser efetivo para o nosso Subsistema Nordeste



Princípios Básicos Levados em Consideração:

- 1) Em uma região com muitas Renováveis e consequentemente Inversores, deve-se selecionar as áreas adequadas para a formação de um índice
- 2) O índice deve ser avaliado pelo Planejamento, no sentido de fornecer mais um fator que ajudará o ONS a garantir a segurança do SIN de forma mais otimizada.
- 3) De extrema importância a definição das “áreas de influência”, relacionadas às fontes de geração que podem ser redespachadas

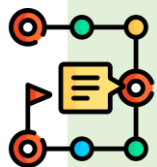
4.2 Segurança Elétrica de Tensão

Conceito proposto



Qual deve ser o procedimento para evitar BLECAUTE?

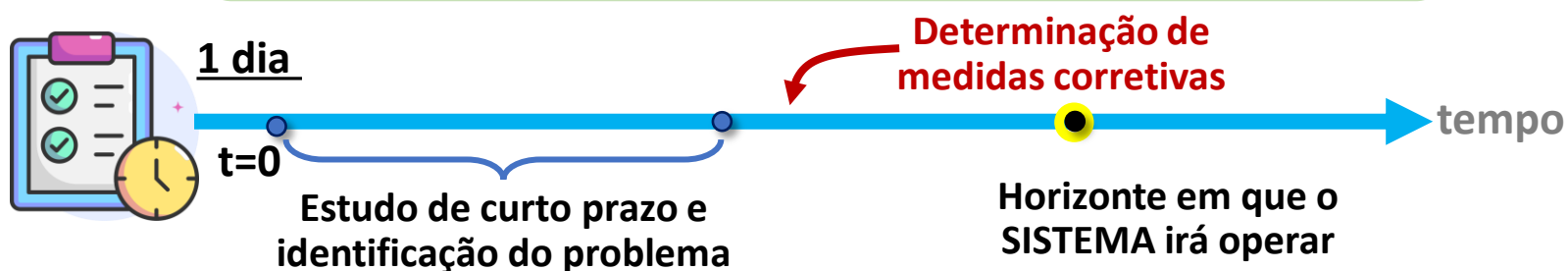
Passo 1: Cálculo a inércia mínima em cada subsistema



Passo 2: Cálculo dos níveis de curto-circuito equivalente

Passo 3: Balanço aproximado de reativos e identificação da situação

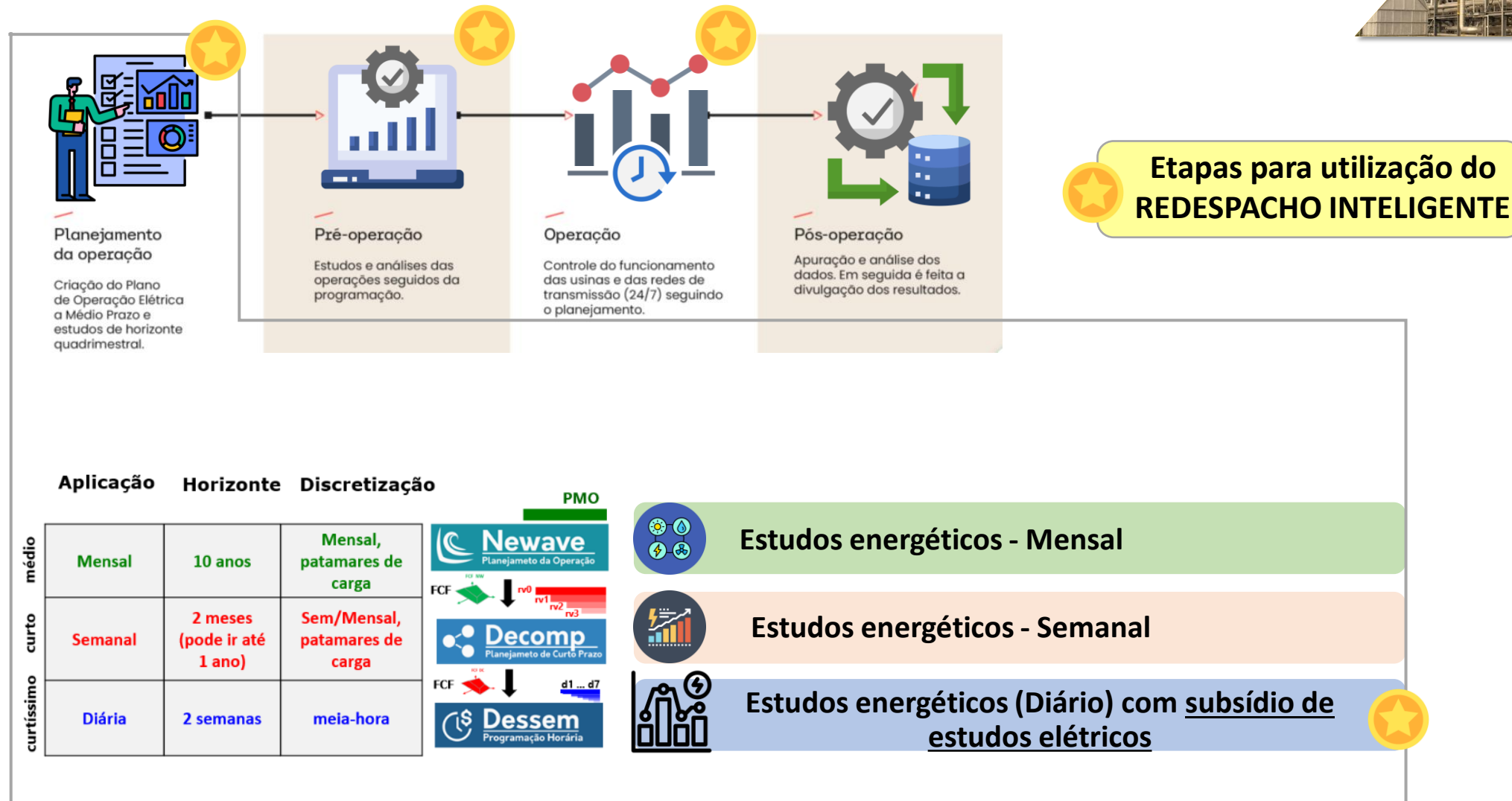
Passo 4: Medidas corretivas – na etapa de planejamento da operação, e depois (se necessário) ajustado em Tempo Real





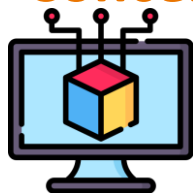
4.2 Segurança Elétrica de Tensão

Conceito proposto



4.2 Segurança Elétrica de Tensão

Conceito proposto



Redespacho de UTEs existentes e contratadas

Estudo de Planejamento da Operação de Curtíssimo Prazo



Sala de
Controle
do Operador

1 dia

Sistema Auxiliar
de Informações

- Distância Elétrica das UTEs
- Tempos de partida
- CVU

Índices

$$ISCR_1 = 8$$

$$ISCR_2 = 9$$

Estudo ABRAGET

índices para monitoramento online de requisitos mínimos de controle de tensão (SYSTEM STRENGTH)

Requisitos de Robustez de V, precisamos aumentar o MVA_{cc} na área.

Índices Elevados → despacha UTEs

considerando os respectivos parâmetros de flexibilidade
Proximidades elétricas das UTEs aos pontos críticos
CVU

Índices normais → ok!

5. Medidas Corretivas – Comparação de alternativas (Redespacho, CS ou Baterias)



❑ Caso original:

PAR PEL 2024: Ciclo 2025-2029 (Sem obras indicadas pelo operador)

❑ Alt 1:

- ▶▶ 2 CS na SE 500kV Açú III, de -180/300 Mvar cada
- ▶▶ 1 CS na SE 500kV João Câmara II, de -180/300 Mvar

❑ Alt 2: Utilização Redespacho Inteligente

❑ Alt 3: Utilização Redespacho Inteligente

❑ Alt 4: Utilização de BESS-GFM

- ▶▶ 2 BESS GFM na SE 500kV Açú III, com $P = 300$ MW
- ▶▶ 1 BESS GFM na SE 500kV João Câmara II, com $P = 300$ MW



Foram simuladas as piores emergências: 28 contingências dinâmicas em linhas de transmissão em 500 kV da região Nordeste, com aplicação de curto-circuito monofásico, seguida pela extinção do curto e abertura de linha, após 100 ms.

5. Medidas Corretivas – Comparação de Alternativas (Redespacho, CS ou Baterias)

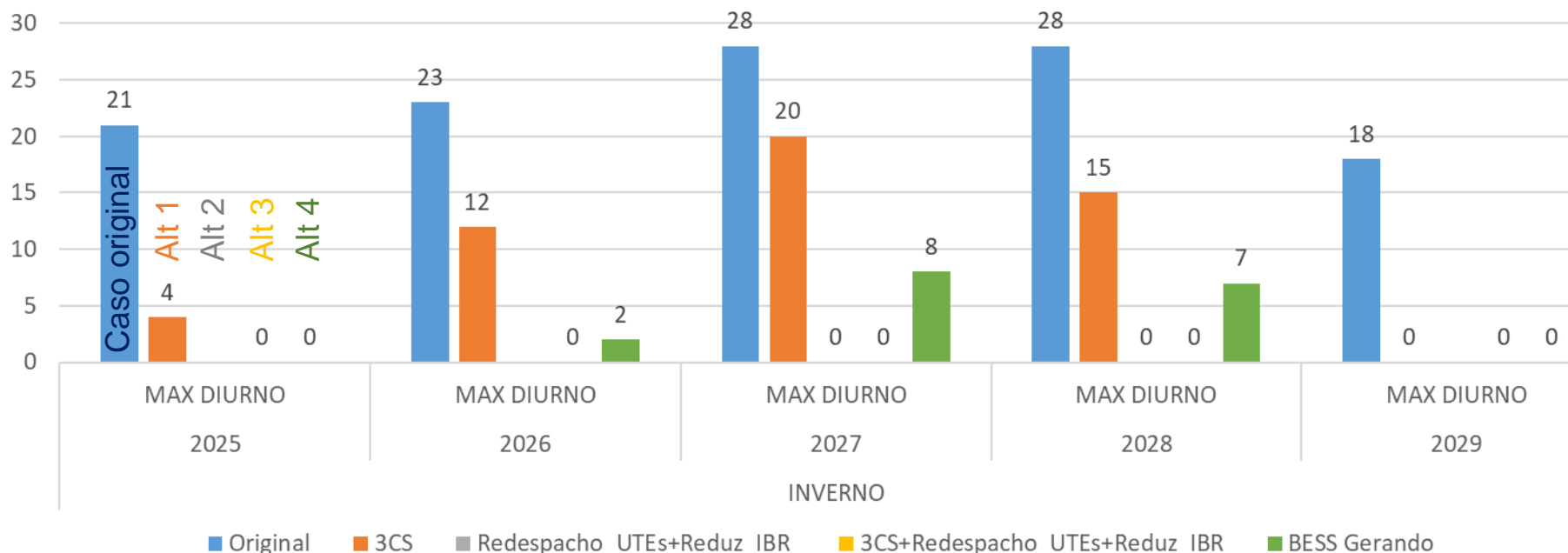


Nas simulações se observa que o redespacho inteligente das UTEs, é a medida mais eficaz para garantir a Robustez do Sistema, com

HPPA

High Performance Power System Applications

Instabilidade de tensão nos cenários alternativos



(a) As UTEs são a grande opção de segurança, no curto e longo prazo. Isso reitera a importância e relevância do próximo LRCAP

(b) A instalação de 3 CS's é uma medida que não resolve os problemas de Robustez antes da entrada de reforços na transmissão na região

(c) As BESS-GFM, se mostram mais eficazes que os CS's para a Segurança do SIN

(considerando o caso até 51% de IBRs na matriz)

6. Conclusões

- Fontes eólicas e solares não contribuem com inércia, regulação primária de frequência e corrente de curto-circuito (system strength), e o controle dinâmico de tensão é precário, insuficiente ou inexistente.
- Dependendo do nível de inserção dessas fontes, o efeito na segurança do Sistema (estabilidade de tensão, angular e frequência) pode ser relevante.
- Devido alto grau de incertezas e variabilidades dessas fontes, os riscos para segurança devem ser monitorados desde a etapa de planejamento, até a etapa de operação em tempo real.

6. Conclusões



- Neste trabalho são propostos índices para monitoramento de requisitos mínimos de inércia e controle de tensão (system strength) que possa ser utilizado pelo operador. Tais índices, associados a uma maior disponibilidade de termelétricas flexíveis, irão permitir que o Operador garanta uma operação mais otimizada e ao mesmo tempo segura do SIN.
- Os índices mostraram efetividade, simplicidade de implantação e podem ser calculados, por exemplo, muito rapidamente pela operação de curto prazo como na operação de tempo real (Organon), servindo de parâmetros básicos tanto para operação quanto para o planejamento.
- De acordo com o estudo, o redespacho inteligente das máquinas síncronas (UTES) é a medida mais eficaz para garantir a segurança do SIN

ABRAGET - Associação Brasileira de Geradoras Termelétricas

CNPJ 05.045.195/0001- 00

Praia de Botafogo 228/ sala 609 - Rio de Janeiro – RJ – CEP 22250-040

Tel/Fax: (21) 2516-1229/ 2253-0926/ 2296-9739/ 98225-7206 - www.abraget.com.br

