



## GRUPO DE ESTUDO DE ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA - GAT

### A IMPORTÂNCIA DA VALIDAÇÃO DE MODELOS PARA MELHOR DESEMPENHO DINÂMICO DO SIN – CASO EXEMPLO DA UTE PAMPA SUL

**VENILTON RODRIGUES DE OLIVEIRA(1); LEONARDO LAMEIRA DO NASCIMENTO(2); MARCUS VINICIUS  
DE FREITAS SCHMIDT(2) RODRIGO DE JESUS MACEDO(2)  
JORDÃO ENERGIA(1); ENGIE(2)**

#### RESUMO

A partir de um trabalho realizado na Usina Termelétrica Pampa Sul, este artigo visa comprovar sobre a importância da validação dos modelos dinâmicos para simulação. Demonstra que, mesmo quando ajustes pareçam adequados no contexto local, podem não estar para possíveis contingências no Sistema Interligado Nacional (SIN). Especificamente para o caso em estudo, foi constatado que o baixo amortecimento do gerador desta usina poderia levar o sistema a uma condição de operação não satisfatória. Outro ponto a se considerar sobre a validação dos modelos, ainda que feito de forma indireta, é a identificação de malhas de controle que podem estar desabilitadas. Para esta situação, foi constatado que o estatismo do Regulador de Velocidade não estava ativo desde a época do comissionamento. Isto é relevante, pois como é de conhecimento, este componente é responsável pelo equilíbrio de carga/geração através da identificação de desvios de frequência.

#### PALAVRAS-CHAVE:

Validação de modelos, ensaios de campo, otimização de ajustes de controle, estatismo.

#### 1.0 INTRODUÇÃO

A Usina Termelétrica Pampa Sul, da empresa Engie Brasil Energia, tem potência nominal de 340 MW e utiliza carvão nacional. Localizada na região de Candiota no Rio Grande do Sul, está em operação comercial desde 2019. Conforme procedimentos de rede do Operador Nacional do Sistema (ONS), para obtenção da Declaração de Atendimento aos Procedimentos de Rede Definitivo (DAPR-D), lhes foi entregue pelo agente gerador o relatório de comissionamento e os modelos do Regulador de Tensão e Limitadores, PSS e Regulador de Velocidade, [1]. Porém, devida à baixa qualidade (taxa de aquisição) dos registros oscilográficos desse último equipamento, foram solicitados ensaios complementares.

Estudos posteriores realizados pelo próprio ONS constataram também, após análises dos relatórios entregues e realizações de simulações sistêmicas, que os ajustes do Regulador de Tensão e do PSS implantados na usina não estavam adequados para satisfatório desempenho dinâmico do SIN, principalmente em contingência e com geração eólica elevada na região. Outro ponto importante, identificado desta vez pelo fabricante (Siemens), foi a necessidade de modificação do ajuste da curva PQ do Limitador de Subexcitação para correta coordenação com o relé com função "40" (perda de excitação).

Com base nestas questões, entre os dias 24 à 29 de janeiro de 2021 foram realizados os ensaios do Regulador de Tensão, do PSS e da curva PQ do Limitador de Subexcitação e claro, do Regulador de Velocidade. Portanto, este artigo tem por objetivo apresentar a validação dos modelos de acordo com os registros obtidos nos ensaios de campo e apresentar a melhora do desempenho dinâmico do SIN com os ajustes recomendados para o Regulador de Tensão e para o PSS.

#### 2.0 SISTEMA DE EXCITAÇÃO

O modelo do regulador de tensão da UTE Pampa Sul é chamado THYRIPOL [4], cujo fabricante é a Siemens. É um controlador proporcional integral, para excitatriz do tipo Estática. Os seguintes componentes fazem parte do sistema de excitação: Regulador de Tensão (RT); Limitador de Subexcitação (UEL); Limitador de Sobreexcitação (OEL); Limitador de Corrente do Estator (SCL); Limitador Volt/Hertz (UFlimit) e Estabilizador de Sistemas de Potência (PSS). A Figura 1 apresenta o modelo em diagrama de blocos do controlador em questão<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Foram encontradas diferenças entre o modelo disponibilizado pelo fabricante e o que estava implantado na usina.

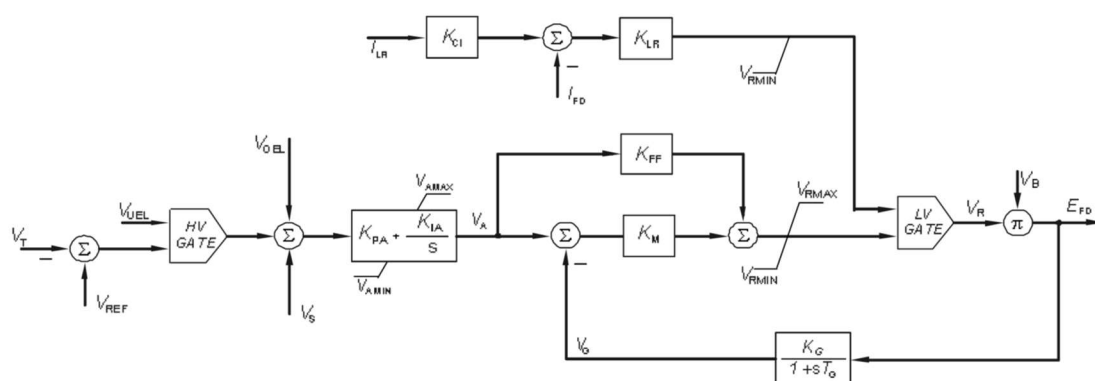


Figura 1. Diagrama de Blocos do Regulador de Tensão

### 3.0 REGULADOR DE VELOCIDADE

A turbina da UTE Pampa Sul possui três estágios de compressão, alta, intermediária e baixa. O regulador de velocidade é do tipo proporcional Integral, [5]. A Figura 2 apresenta o modelo verificado em campo<sup>2</sup> e modelado no modelo do ANATEM.

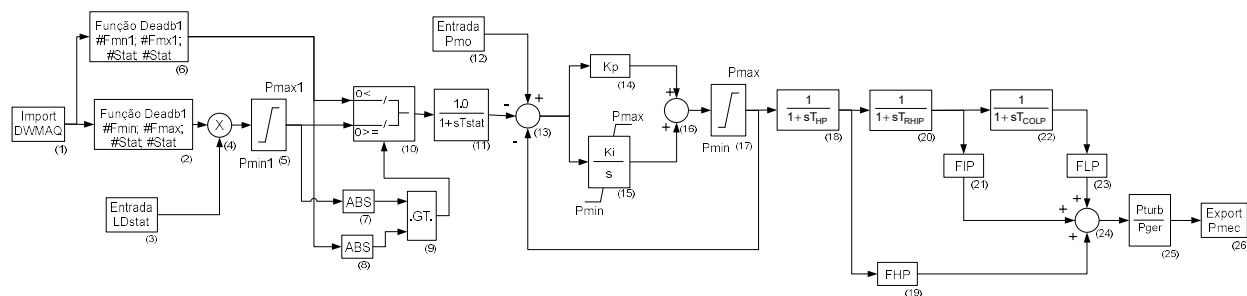
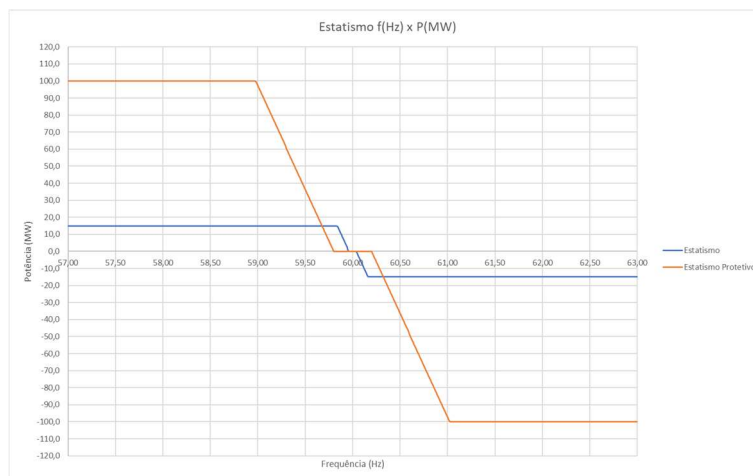


Figura 2. Modelo do Regulador de Velocidade

A Figura 3 apresenta o estatismo (em azul) do regulador de velocidade com um ajuste de 5% e uma banda morta de  $\pm 0,04$  Hz, que está de acordo com os requisitos técnicos dos Procedimentos de Rede do ONS. Ressalta-se que para esta curva há um limite de contribuição de potência de  $\pm 15$  MW. Sobreposta a esta curva, há uma curva de “estatismo protetivo” (em vermelho) que possui a mesma funcionalidade, mas com uma banda morta de  $\pm 0,2$  Hz, ou seja, quando houver uma variação de frequência no SIN acima de  $\pm 0,2$  Hz a usina aumenta a sua contribuição de potência.



<sup>2</sup> Como no caso anterior, há diferenças entre o modelo disponibilizado pelo fabricante e o que estava implantado na usina.

Figura 3. Curva do Estatismo da UTE Pampa Sul – Frequência (Hz) x Potência (MW)

## 4.0 VALIDAÇÃO DO REGULADOR DE TENSÃO – AJUSTES DE COMISSIONAMENTO

Após o final do comissionamento, nos foram disponibilizados os registros dos ensaios, assim como os ajustes do RT e limitadores. Os ajustes dos ganhos proporcional e integral do RT implementados no modelo estão mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Ajuste do RT após ao comissionamento

| Parâmetros | Ajuste | Unidade |
|------------|--------|---------|
| KPA        | 44,30  | pu      |
| KIA        | 49,20  | 1/sec.  |

Com estes novos ajustes, foi possível validar o modelo, tanto para degrau em vazio como para gerador com carga. A Figura 4 e 5 apresentam a validação para o ensaio de degrau de 2% na referência do RT em vazio. Para o gerador em carga, a Figura 6 apresenta a tensão terminal e a Figura 7 a potência elétrica do gerador com o PSS ligado. Nestas figuras pode-se observar que o tempo de resposta para o ensaio a vazio está conservador. Além disso, especificamente para a última figura, é possível constatar que, mesmo estando o PSS ligado, o amortecimento não estava satisfatório.

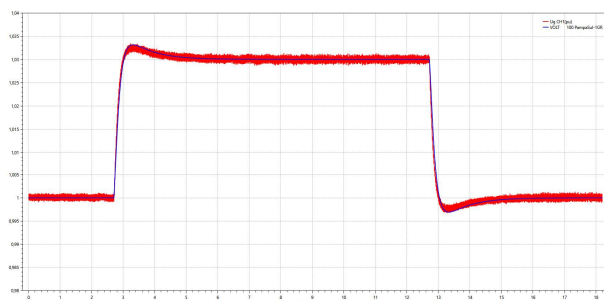


Figura 4. Tensão Terminal – Degrau 2% em Vazio

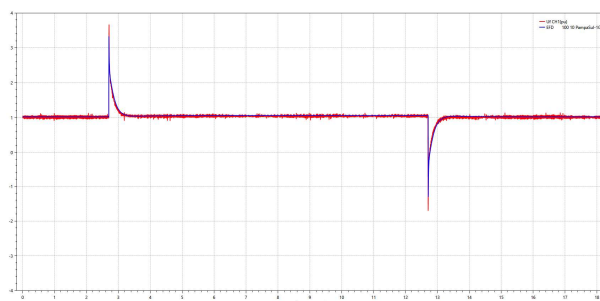


Figura 5. Tensão de Campo – Degrau 2% em Vazio

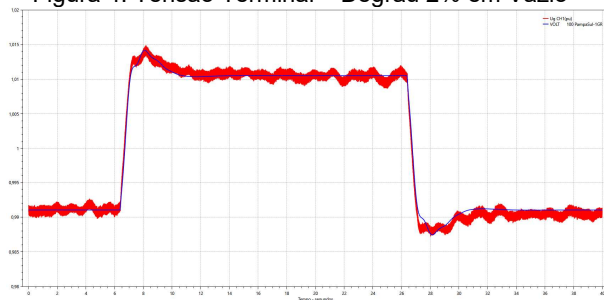


Figura 6. Tensão Terminal – Degrau 2% em Carga

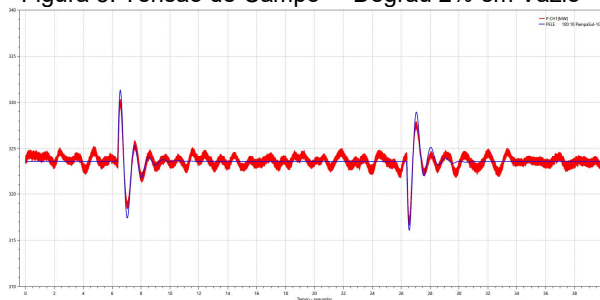


Figura 7. Potência Elétrica – Degrau 2% em Carga

## 5.0 AVALIAÇÃO SISTÊMICA COM OS AJUSTES DE COMISSIONAMENTO

Após o envio do relatório final de comissionamento, o ONS realizou diversas simulações onde verificou-se que os ajustes do RT e do PSS, Figura 8, não estavam adequados para algumas contingências. Além disso, da forma como se encontravam, poder-se-ia restringir os valores de geração eólica na região devido ao baixo amortecimento. Portanto, foi recomendado um novo conjunto de ajustes tanto para o RT, Tabela 2, como para o PSS, Tabela 3. A Figura 9 apresenta a simulação do ONS para a contingência da LT 500 kV Povo Novo – Nova Santa Rita como os ajustes do comissionamento, verifica-se uma oscilação de baixo amortecimento nas tensões do sistema. Quando esta mesma simulação é realizada com os ajustes recomendados, verifica-se um aumento do amortecimento do sistema, permitindo assim um despacho maior da geração eólica na região.

Tabela 2 – Novo Ajuste do RT

| Parâmetros | Ajuste  | Unidade |
|------------|---------|---------|
| KPA        | 112,572 | pu      |
| KIA        | 45,0288 | 1/sec.  |

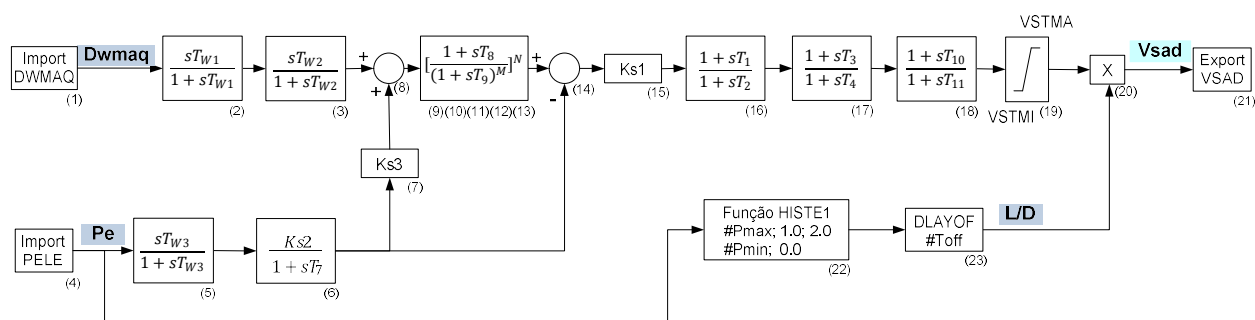


Figura 8. Modelo do PSS do ANATEM

Tabela 3 – Ajustes para o PSS

| Parâmetros | Ajuste | Unidade | Parâmetros | Ajuste | Unidade | Parâmetros | Ajuste | Unidade |
|------------|--------|---------|------------|--------|---------|------------|--------|---------|
| T1         | 0,26   | sec.    | T11        | 1,0    | sec.    | VSTMI      | -0,10  | pu      |
| T2         | 0,09   | sec.    | TW1        | 3,00   | sec.    | VSTMA      | 0,10   | pu      |
| T3         | 0,26   | sec.    | TW2        | 3,00   | sec.    | Pmax       | 0,20   | pu      |
| T4         | 0,09   | sec.    | TW3        | 3,00   | sec.    | Pmin       | 0,19   | pu      |
| T7         | 3,0    | sec.    | TW4        | 0,0    | sec.    | Toff       | 4,00   | sec.    |
| T8         | 0,60   | sec.    | KS1        | 10,0   | pu      | M          | 5      | -       |
| T9         | 0,12   | sec.    | Ks2        | 0,3520 | pu      | N          | 1      | -       |
| T10        | 1,0    | sec.    | Ks3        | 1,0    | pu      |            |        |         |

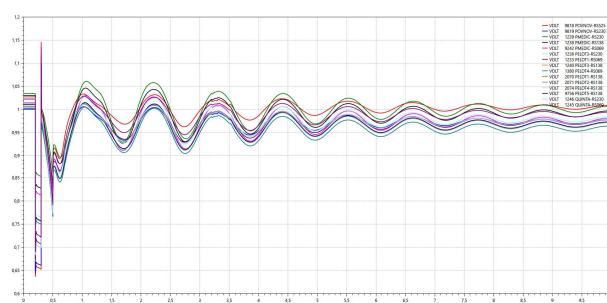


Figura 9. Contingência LT 525 kV P. Novo – N.S. Rita – Ajuste Comissionamento

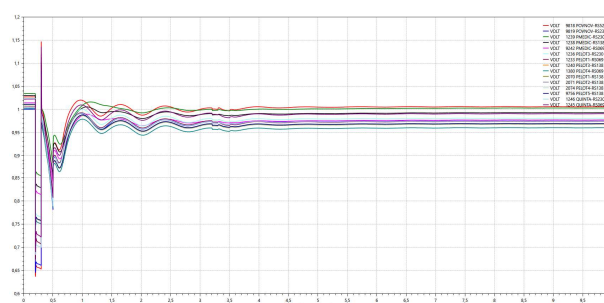


Figura 10. Contingência LT 525 kV P. Novo – N.S. Rita – Ajuste Recomendados

## 6.0 VALIDAÇÃO DO MODELO DO RT COM OS NOVOS AJUSTES

Nas figuras 11 a 14 são apresentadas as curvas de simulação (azul) com as curvas medidas em campo (vermelho) para tensão terminal (em vazio), tensão de campo (em vazio), tensão terminal (em carga) e potência ativa, respectivamente. Comparando as curvas sobrepostas de cada gráfico, é possível verificar que o modelo está bem aderente ao comportamento real da máquina. Além disso, com os novos ajustes, comparando estes gráficos com os das figuras 4 a 7 do item 4.0 é possível constatar que o tempo de resposta da tensão terminal, bem como o número de oscilações da potência ativa foram menores aumentando o amortecimento do gerador para o modo de oscilação local. Ou seja, os novos ajustes para o RT (Tabela 2) e PSS (Tabela 3) melhoraram, de fato, o desempenho do gerador e consequentemente do SIN.

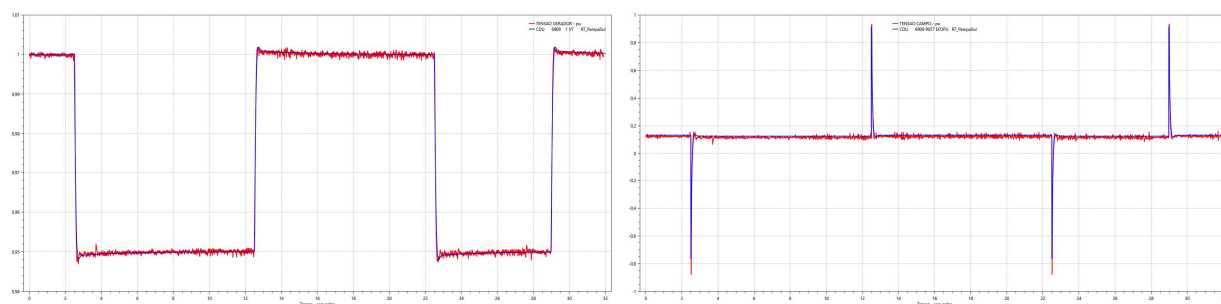


Figura 11. Tensão Terminal – Degrau 2% a Vazio

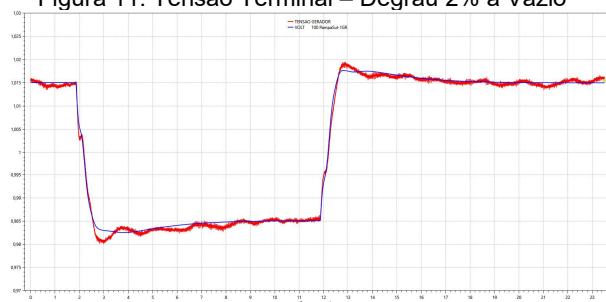


Figura 12. Tensão de Campo – Degrau 2% a Vazio

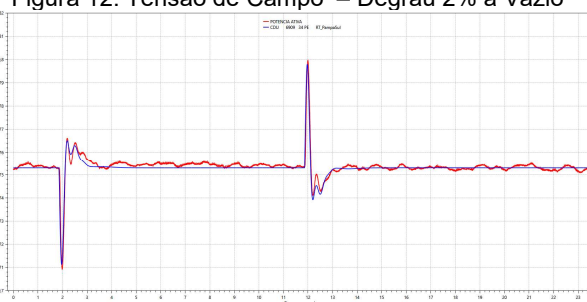


Figura 13. Tensão Terminal – Degrau 2% em Carga

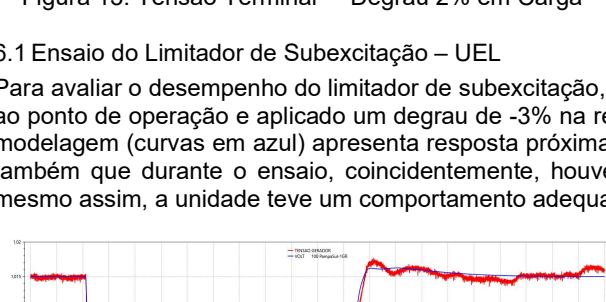
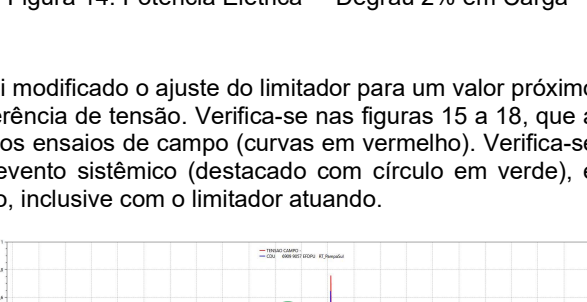


Figura 14. Potência Elétrica – Degrau 2% em Carga



### 6.1 Ensaio do Limitador de Subexcitação – UEL

Para avaliar o desempenho do limitador de subexcitação, foi modificado o ajuste do limitador para um valor próximo ao ponto de operação e aplicado um degrau de -3% na referência de tensão. Verifica-se nas figuras 15 a 18, que a modelagem (curvas em azul) apresenta resposta próxima aos ensaios de campo (curvas em vermelho). Verifica-se também que durante o ensaio, coincidentemente, houve evento sistêmico (destacado com círculo em verde), e mesmo assim, a unidade teve um comportamento adequado, inclusive com o limitador atuando.

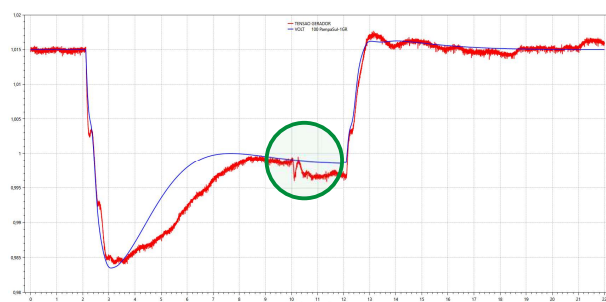


Figura 15. Tensão Terminal

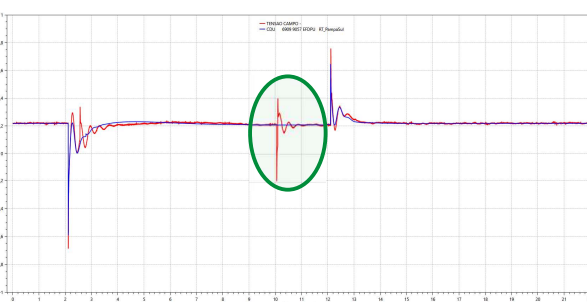


Figura 16. Tensão de Campo

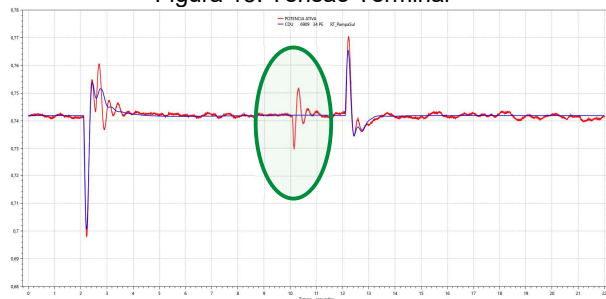


Figura 17. Potência Elétrica

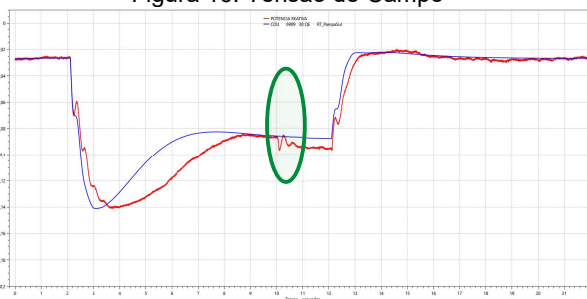


Figura 18. Potência Reativa

### 6.2 Ensaio do Limitador de Sobrexexcitação – OEL Temporizado

Da mesma forma que o ensaio do Limitador de Subexcitação, o ajuste do Limitador de Sobrexexcitação Temporizado foi modificado para um valor próximo ao ponto de operação. A temporização do limitador também foi modificada para uma atuação mais rápida. Foi aplicado um degrau de 3% na referência do regulador de tensão para atuação do limitador. Verifica-se nos gráficos abaixo que o modelo (curvas em azul) apresentam resposta aderente às curvas de campo (em vermelho).

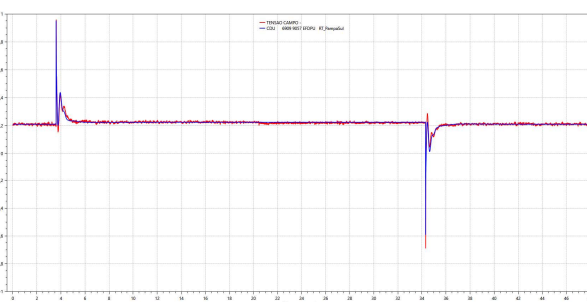
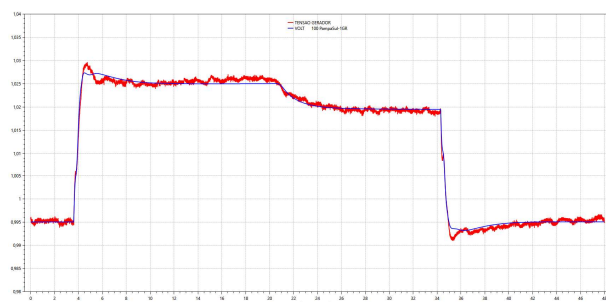


Figura 19. Tensão Terminal

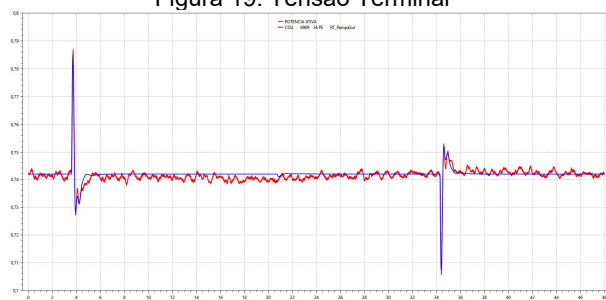


Figura 21. Potência Elétrica

Figura 20. Tensão de Campo

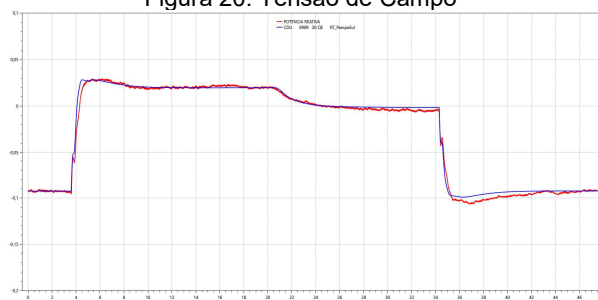


Figura 22. Potência Reativa

## 7.0 DESCRITIVO DOS ENSAIOS DO RV

Para a validação do modelo do Regulador de Velocidade da UTE Pampa Sul foram realizados ensaios de degrau na referência de frequência estando o gerador com 175 MW e 310 MW de potência e com estatismo ligado e desligado. A Tabela 4 apresenta os detalhes dos ensaios realizados e a Figura 23 apresenta os pontos dos ensaios na curva do estatismo.

Tabela 4 – Ensaios Realizados

| Ensaio | Geração (MW) | Estatismo | Degrau mHz | Variação MW | Comentários  |
|--------|--------------|-----------|------------|-------------|--|
| 1      | 175          | Ligado    | +20        | 0           | Varição de frequência dentro da banda morta da curva do estatismo  |
| 2      | 175          | Ligado    | +80        | -4,9        | Varição de frequência na curva do estatismo  |
| 3      | 175          | Ligado    | -80        | +4,9        | Varição de frequência na curva do estatismo  |
| 4      | 175          | Desligado | +180       | 0           | Varição de frequência dentro da banda morta da curva do "estatismo protetivo"  |
| 5      | 175          | Desligado | -180       | 0           | Varição de frequência dentro da banda morta da curva do "estatismo protetivo"  |
| 6      | 175          | Desligado | +240       | -4,9        | Varição de frequência na curva do "estatismo protetivo"  |
| 7      | 175          | Ligado    | +240       | -15         | Varição de frequência na curva do estatismo  |
| 8      | 175          | Ligado    | +340       | -17         | Varição de frequência na curva do "estatismo protetivo" com a mudança da curva de estatismos para a curva do "estatismo protetivo" |
| 9      | 310          | Ligado    | +80        | -4,9        | Varição de frequência na curva do estatismo  |
| 10     | 310          | Ligado    | -80        | +4,9        | Varição de frequência na curva do estatismo  |
| 11     | 310          | Ligado    | +240       | -15         | Varição de frequência na curva do estatismo  |
| 12     | 310          | Ligado    | +340       | -17         | Varição de frequência na curva do "estatismo protetivo"  |
| 13     | 310          | Ligado    | -240       | +15         | Varição de frequência na curva do estatismo  |



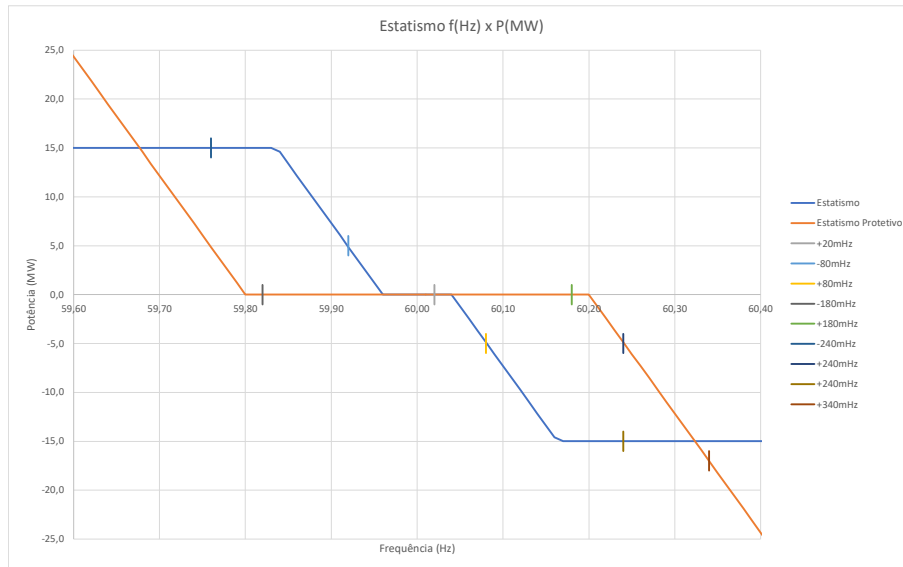


Figura 23. Curva do Estatismo da UTE Pampa Sul – Frequência (Hz) x Potência (MW)

## 8.0 VALIDAÇÃO DO REGULADOR DE VELOCIDADE

Para a validação do modelo do regulador de velocidade, foram comparados os resultados das simulações com os ensaios descritos na Tabela 4. Os três principais são apresentados nos itens a seguir.

### 8.1 Ensaio 1 – Degrau de +20mHz

Neste ensaio foi aplicado um degrau de +20mHz na referência de frequência. Com esta variação de frequência a variação de potência esperada é nulo, porque está dentro da banda morta do estatismo (Figura 3, item 3.0). A Figura 24 apresenta o degrau de frequência e a Figura 25 apresenta a variação de potência, sendo a curva em vermelho do ensaio de campo e a curva em azul resultado da simulação.

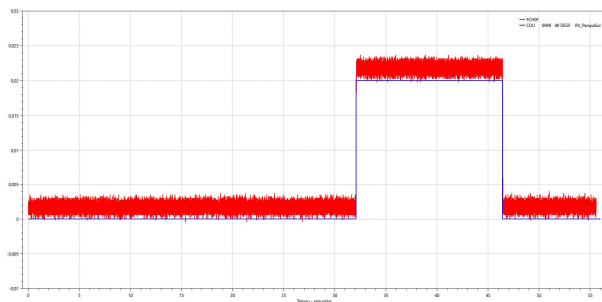


Figura 24. Degrau de Frequência (Hz)

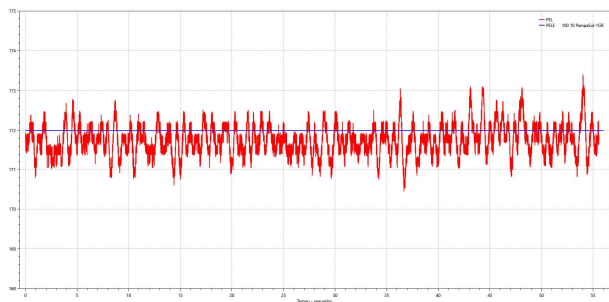


Figura 25. Potência Ativa

### 8.2 Ensaio 10 – Degrau de -80 mHz

Neste ensaio foi aplicado um degrau de -80mHz na referência de frequência. Com esta variação de frequência a variação de potência esperada é de +4,9 MW, dentro da curva do estatismo (Figura 3, item 3.0). A Figura 26 apresenta o degrau de frequência e a Figura 27 apresenta a variação de potência, sendo a curva em vermelho do ensaio de campo e a curva em azul da simulação.

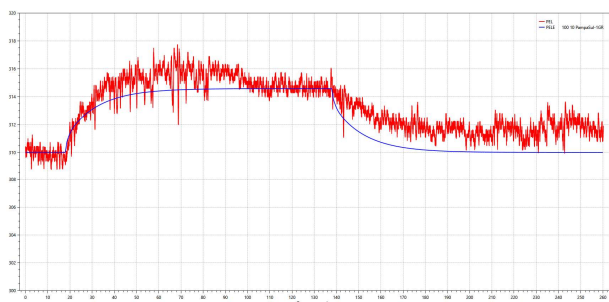
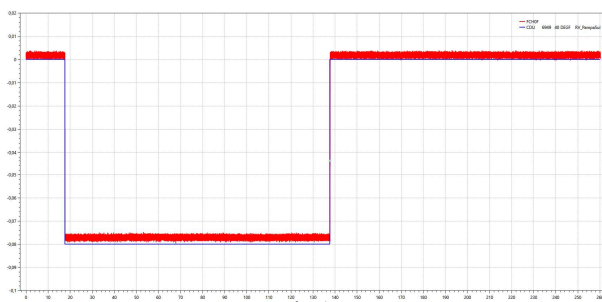


Figura 26. Degrau de Frequência (Hz)

Figura 27. Potência Ativa

### 8.3 Ensaio 11 – Degrau de +240 mHz

Neste ensaio foi aplicado um degraú de +240mHz na referência de frequência. Com esta variação de frequência a variação de potência esperada é de -15 MW, dentro da curva do estatismo (Figura 3, item 3.0). A Figura 28 apresenta o degraú de frequência e a Figura 29 apresenta a variação de potência, sendo a curva em vermelho do ensaio de campo e a curva em azul da simulação.

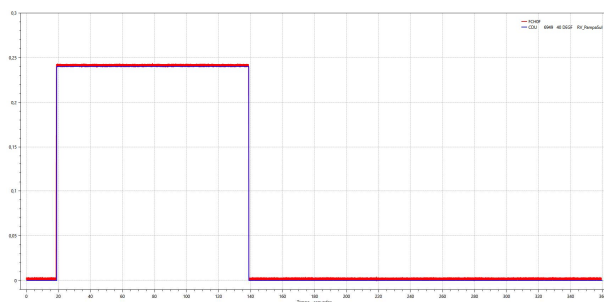


Figura 28. Degrau de Frequência (Hz)

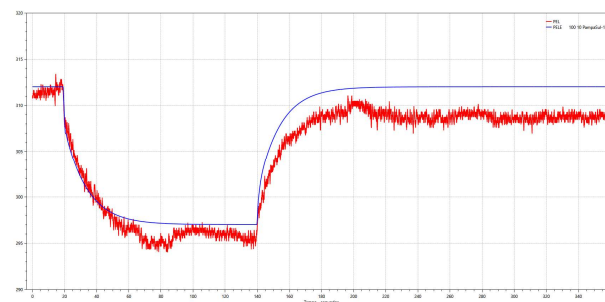


Figura 29. Potência Ativa

## 9.0 CONCLUSÃO

Neste trabalho demonstrou-se sobre a importância da validação de modelos dos componentes do SIN, a partir de um estudo de caso, especificamente para a UTE Pampa Sul. Com a validação do modelo do Regulador de Tensão, do Limitadores e do PSS com os ensaios de comissionamento permitiu identificar um baixo amortecimento do sistema na ocorrência da pedra da LT 500 kV Povo Novo – Nova Santa Rita com geração eólica elevada na região. Sendo assim, foi possível recomendar um novo conjunto de ajustes para o RT e PSS que permitisse um aumento do amortecimento da UTE Pampa Sul e consequentemente do SIN. Além disso, durante o levantamento de informações ou mesmo os ensaios, verificou-se problemas críticos, oriundos da época de comissionamento, como o fato de o estatismo do Regulador de Velocidade estar desabilitado, ou mesmo problemas no ajuste de uma dada função de proteção. Este é um outro papel que demonstra sobre a importância da validação dos modelos com os ensaios de campo.

## 10.0 REFERÊNCIAS

- [1] Relatório RL-CL186-01-19 – Relatório de Validação de Modelos com os Ensaio de Campo da UTE Pampa Sul – Rev02;
- [2] DP21T-00001813\_A - SGEN6-2000H (110/55) PROJECT APPLICATION;
- [3] Power System Control and Stability, P. M. Anderson A. A. Fouad, Second Edition
- [4] Modelling of the Siemens Voltage Controller;
- [5] DPPP-G-7001671800 - IEEE Steam Turbine Block Diagram for Power System Studies

## 11.0 DADOS BIOGRÁFICOS



### (1) VENILTON RODRIGUES DE OLIVEIRA

Formado na UFF em 1992, Mestrado em Computação em 2009. Com grande experiência em estudos regime permanente, transitório eletromecânico, transitório eletromagnético, comissionamento, modelagem e ajuste de equipamento de controle, tais como: Reguladores de Tensão, Reguladores de Velocidade, PSS. Grande experiência na modelagem de SVC, HVDC, Usinas Solares e Eólica no ATP e ANATEM. Com participação nos estudos de HVDC no Brasil. Trabalhou em Furnas de 1993 à 2000 e no ONS de 2000 à 2008. Hoje é sócio da empresa Jordão Energia, empresa reconhecida pela Aneel com uma das 10 empresas que mais se envolvem em projetos de P&D.

### (2) LEONARDO LAMEIRA DO NASCIMENTO

Desde 2012 é Engenheiro de Sistemas de Operação na empresa Engie Brasil Energia, atuando em atividades relacionados à sistemas supervisórios, proteção e controle. Neste ano iniciou o doutorado em Sistemas de Potência



pela Universidade Federal de Santa Catarina, onde, nesta mesma universidade, obteve a titulação de mestre em 2014 e a graduação em Engenharia Elétrica no ano de 2011

(3) MARCUS VINICIUS DE FREITAS SCHMIDT

Formado em Engenharia Elétrica na PUCRS, MBA em gerenciamento de projetos pela FGV, 16 anos de experiência em projeto, construção, comissionamento e O&M de Usinas Térmicas na ENGIE Brasil Energia. Membro residente na China da equipe de engenharia e controle de qualidade do projeto UTE Pampa Sul

4) RODRIGO DE JESUS MACEDO

Formado em Engenharia de Controle e Automação pela UFRJ em 2016, formando em MBE em Gestão da Manutenção Industrial pela UNINTER. Experiência de 5+ anos em modelagem de sistemas dinâmicos; simulação de sistemas de controle de usinas termelétricas de ciclo combinado; desenvolvimento de sistema de controle anti-surge de turbocompressores; desenvolvimento de estratégias de controle; sintonia de parâmetros de controle; ensaios de estatismo em reguladores de velocidade Siemens SPPA-T3000. Atualmente é engenheiro de manutenção na área de automação e controle na UTE Pampa Sul.