



**XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GAT/21

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO - IV

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

APLICAÇÃO DE FUNÇÕES AVANÇADAS AO CONTROLE DE VELOCIDADE NA UHE JIRAU

Henrique A. Menarin (*)
REIVAX S/A

Rafael B. de Paiva
REIVAX S/A

Lucas M. da Silva
REIVAX S/A

Kleiton Schmitt
REIVAX S/A

Cristiano Bühler
REIVAX S/A

RESUMO

Este informe técnico apresenta um conjunto de funções agregadas aos reguladores de velocidade da margem esquerda da UHE Jirau, com o objetivo de aumentar a robustez dos sistemas de controle frente às condições operativas da usina. Este trabalho foi necessário devido a particularidades de dinâmica do processo controlado e às perturbações a que as unidades estão sujeitas. O efeito de tais características sobre a estabilidade do sistema de controle também é discutido neste informe.

Resultados de campo são apresentados, discutindo as melhorias obtidas com a implantação das funções avançadas aos sistemas de controle. A fim de permitir avaliar o impacto das funções na estabilidade do Sistema Interligado Nacional, o novo sistema de controle foi modelado com o software ANATEM. Uma série de casos de simulação também é apresentada.

PALAVRAS-CHAVE

Controle Adaptativo, UHE Jirau, Turbina Bulbo, Usinas a Fio D'água, Controle de Velocidade.

1.0 - INTRODUÇÃO

A UHE Jirau é uma usina a fio d'água com capacidade instalada de 3750 MW, totalizando 50 turbinas do tipo Bulbo. As turbinas têm potência nominal de 75 MW, sendo as maiores deste tipo em operação no mundo. Diversas particularidades da usina, das unidades geradoras e da conexão ao Sistema Interligado Nacional (SIN) representam desafios para os sistemas de controle de velocidade, que reduzem as margens de estabilidade. Para garantir uma operação mais estável e reduzir o número de paradas das unidades devido a eventos relacionados ao controle de velocidade, foi realizada a substituição dos 22 reguladores de velocidade (RV) originalmente instalados na margem esquerda. No novo RV, foi incluído um conjunto de soluções desenvolvidas para tratar cada um dos problemas de controle específicos da usina.

A seguir, na seção 2.0, são apresentadas as principais características de uma unidade geradora bulbo, evidenciando as particularidades da UHE Jirau que dificultam o controle de velocidade das unidades geradoras. Na seção 3.0, são discutidas as soluções de controle desenvolvidas. Na seção 4.0, apresentam-se resultados obtidos em campo com a implantação das funções. Na seção 5.0, é apresentada a abordagem utilizada para a modelagem das unidades e do sistema de controle, juntamente com resultados de simulação. Na seção 6.0, são apresentadas as conclusões do trabalho. Na seção 7.0 são listadas as referências utilizadas.

2.0 - UNIDADES GERADORAS BULBO DA UHE JIRAU

2.1 Características Gerais

As Unidades Geradoras Bulbo são uma solução compacta às turbinas Kaplan. São adaptadas para quedas ainda mais baixas, e podem ser utilizadas tanto em pequenos como em grandes aproveitamentos. O gerador é montado na horizontal, envolto por um casulo em forma de bulbo.

Além das características de vazão e queda, as Unidades Geradoras Bulbo quase sempre se utilizam de reservatórios a fio d'água, sendo assim, uma solução pertinente às modernas e rígidas diretrizes ambientais. Sua concepção compacta reduz consideravelmente o volume das obras civis, tornando a mesma de menor custo. Em compensação, o custo dos equipamentos eletromecânicos, turbina e gerador são maiores que os das turbinas convencionais, pela tecnologia e processos de fabricação aplicáveis em termos de ajustes e vedações.

As turbinas utilizadas nas unidades Bulbo podem ser do tipo Hélice (pás do rotor fixas) ou Kaplan (pás do rotor móveis). As unidades da UHE Jirau utilizam regulação de velocidade feita através da ação do distribuidor e com auxílio da variação do ângulo de ataque das pás do rotor, o que lhes confere uma ampla faixa de operação.

Para abertura do distribuidor, como em outras plantas, é utilizado o sistema hidráulico pressurizado, com uma pressão nominal de 64 bar. O fechamento do distribuidor é realizado pelo uso de um contrapeso de 26.000 Kg.

2.2 Dinâmica dos Atuadores Hidráulicos

Um dos problemas de controle em potencial para as unidades geradoras é a diferença de dinâmica do distribuidor e das pás do rotor. Na UHE Jirau, o tempo de abertura e fechamento é de 15 segundos para o distribuidor e de 30 segundos para as pás do rotor. Durante uma perturbação que exija rápida abertura dos atuadores pelo RV, surge um erro de conjugação entre as pás do rotor e o distribuidor, uma vez que o último atua mais rapidamente que as pás do rotor. Com a queda da eficiência causada por esse erro de conjugação, o torque mecânico fornecido pela turbina se reduz, ao invés de aumentar. Como comprovado em [1], esta configuração pode levar a máquina à instabilidade durante a operação isolada. Como será discutido mais adiante, as unidades da UHE Jirau podem ficar facilmente sujeitas a uma condição semelhante à de operação isolada.

2.3 Região de Operação Limitada

As turbinas tipo bulbo da UHE Jirau possuem regiões de operação que devem ser evitadas, dentro das quais o fabricante estipula um número máximo de horas de operação como garantia:

- Região de cavitação por potência mínima;
- Região de cavitação por baixa pressão na zona de sucção;
- Potência máxima;
- Vazão máxima.

Essas regiões de operação devem ser respeitadas, a fim de evitar danos à unidade geradora.

2.4 Dinâmica da Coluna d'Água e do Conjunto Turbina-Gerador

Para que se ajuste adequadamente a malha de controle, é preciso que os parâmetros estejam coerentes com a dinâmica do processo controlado. Para o problema de controle de velocidade, como discutido em [2], o ajuste depende da dinâmica da coluna d'água – a constante de tempo T_w – e da inércia do conjunto turbina-gerador – $2H$.

A dinâmica da turbina e do conduto, quando linearizada num ponto de operação para uma determinada queda H e vazão Q , resulta num modelo de fase não mínima. A constante de tempo T_w desse modelo é dada por [3]:

$$T_w = \frac{L_p}{A_p g} \frac{Q}{H} \quad (\text{eq. 1})$$

onde L_p e A_p são o comprimento e a área da seção do conduto, respectivamente, e g é a aceleração da gravidade. Com base nessa equação, pode-se verificar as seguintes características em Jirau:

- Devido à alta vazão (542,65 m³/s), T_w possui um alto valor nominal, de 2,1 s. Quanto maior essa dinâmica, mais difícil de se controlar a velocidade, pois ela atrasa a atuação do RV sobre a velocidade;
- Por estar sujeita à variação do regime hidrológico da região, a unidade pode operar com queda entre 9 e 19,6 m, sendo a queda nominal de 15,2 m. Ou seja, T_w varia até 40% em relação ao seu valor nominal;
- A dinâmica da coluna d'água varia com a vazão e, portanto, com a potência fornecida pela unidade.

Como a melhor sintonia da malha depende da dinâmica do processo, o desempenho com um conjunto fixo de parâmetros sempre estará abaixo do ótimo. Em geral, é adotada a sintonia para a pior condição de operação, que

ocorre para o maior valor de T_w , para queda mínima e a maior potência nessa condição. Isso garante a estabilidade frente a condições normais para todos os pontos de operação. Tal sintonia conservadora pode ser lenta para compensar grandes perturbações como rejeição, ilhamento, *black start* ou outros eventos. Devido à grande variação de T_w em Jirau, esse problema está presente, como observava-se no RV originalmente instalado.

De acordo com a IEEE 1207 [4], a razão $2H/T_w$ é um bom critério para saber o quanto será exigido do controle para uma boa margem de estabilidade. Usualmente, as unidades possuem uma razão $2H/T_w$ maior que 2,5. As unidades geradoras do tipo bulbo de Jirau possuem uma constante de inércia $2H$ de 3,2 s. Com isso, a razão nominal em Jirau é de 1,5, chegando a 1,17 para a queda mínima. Isso requer um sistema de controle rápido e com um bom projeto da malha de controle, a fim de prover ganho e fase necessários para garantir a estabilidade do sistema [4]. Ou seja, quanto mais leve é a máquina (baixo $2H$, como em Jirau), mais rapidamente ela acelera, e por isso necessita que o torque mecânico seja alterado rapidamente para mantê-la na velocidade nominal. Por outro lado, quanto maior T_w , mais tempo leva para que a abertura do distribuidor afete o torque mecânico, além de ser maior o efeito da fase não-mínima. Por esse motivo, as unidades geradoras da UHE Jirau necessitam de um sistema de controle muito bem projetado e sintonizado, com um grau de exigência maior do que é geralmente necessário.

2.5 Conexão do Sistema Interligado Nacional (SIN)

A conexão das UHEs Jirau e Santo Antônio ao SIN é realizada por meio da linha HVDC mais longa do mundo, entre Porto Velho (AC) e Araraquara (SP). A conversão da energia para corrente contínua é realizada na SE Coletora Porto Velho por dois bipolos 3150 MW, 600 kV cada.

Uma das formas de analisar a interação do controle de velocidade da unidade – ou de toda a usina – com o SIN é por um modelo de duas áreas [3]. A primeira área possui a inércia equivalente à unidade ou à usina, enquanto a outra representa o sistema. Como a inércia do sistema é muito maior que a da área analisada, a frequência na área com maior inércia (o SIN) é predominante sobre a área analisada. Com isso, a frequência da área analisada se altera muito pouco, devido ao acoplamento com o sistema interligado. É como se houvesse um amortecimento que aumenta a margem de estabilidade do controle de velocidade quando a unidade está sincronizada. No entanto, uma conexão de corrente contínua não possui acoplamento com o SIN: do ponto de vista do controle de velocidade, as UHEs Jirau e Santo Antônio operam como numa ilha. Conseqüentemente, as flutuações de frequência das máquinas afetam umas às outras, e não há amortecimento resultante do SIN.

Busca-se solucionar o efeito por meio de um controlador de estabilização da frequência nos bipolos CC, o que fornece um amortecimento semelhante a uma conexão CA. Esse controlador, no entanto, pode ser desativado por falhas internas ou em eventos do sistema, e as unidades estarão novamente ilhadas. Isso apresenta duas dificuldades à regulação primária: a) não se pode contar com o amortecimento por acoplamento ao sistema; e b) a condição de operação pode mudar repentinamente, se o controlador de frequência do bipolo for desativado.

Um outro desafio à operação das UHEs Jirau e Santo Antônio é que os bipolos possuem uma potência mínima para disparo dos tiristores. Ou seja, quando o complexo não está funcionando, a sincronização das primeiras máquinas à SE Coletora requer uma manobra de *black start*. Isso equivale a um degrau na carga das unidades, o que, dadas as particularidades de controle explicadas acima, é uma perturbação difícil de se compensar.

3.0 - SOLUÇÕES DE CONTROLE

Dadas as particularidades apresentadas, foram desenvolvidas as soluções a seguir.

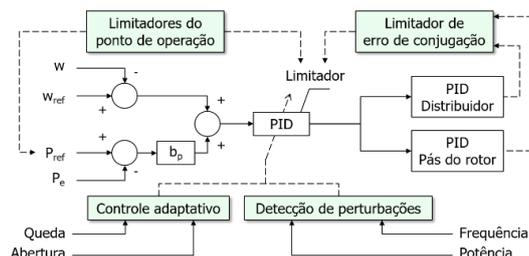


FIGURA 3 - Soluções de controle desenvolvidas

3.1 Controle Adaptativo

Numa malha de controle adaptativo, a lei de controle é atualizada automaticamente durante a operação, a fim de se adequar à dinâmica do processo naquele ponto de operação. A partir da eq. 1, pode-se verificar a seguinte relação:

$$T_w = T_{w,nom} \frac{Q(pu)}{H(pu)} \quad (\text{eq. 2})$$

onde Q (pu) e H (pu) são os valores de vazão e queda no sistema por unidade (pu), com relação aos dados nominais da máquina. Ou seja, existe uma forma de se calcular a dinâmica com base no ponto de operação atual. A forma de adaptação dos parâmetros da malha de controle é apresentada na Figura 4.

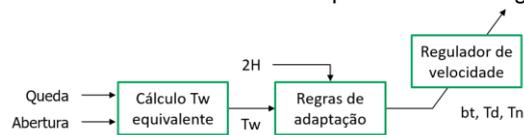


FIGURA 4 – Atualização dos parâmetros do RV

Com essa adaptação dos parâmetros de controle é possível obter respostas semelhantes do RV em diferentes pontos de operação, mesmo com variações na queda e na vazão da turbina.

3.2 Limitadores de Operação

Para evitar a operação nas regiões que danificam a máquina, foi desenvolvido um conjunto de limitadores, que atuam sobre a malha de controle de velocidade para evitar tais regiões de operação.

De modo geral, RVs convencionais dispõem apenas de um limitador de abertura, que impede que a malha ultrapasse um valor máximo. Em Jirau, devido à grande variação de queda e à maior possibilidade de ocorrência de cavitação, tal limitação é insuficiente para garantir a operação segura da unidade. Como apresentado na Figura 3, os limitadores de operação agem sobre a referência de potência e sobre o limitador da saída da malha.

3.2.1 Limitador de Máxima Potência

O limitador de máxima potência atua sobre a saída da malha do RV para que a potência ativa se mantenha abaixo de um valor limite, ou seja, afeta diretamente a referência de posição dos atuadores. Em reguladores convencionais, essa limitação é feita na referência de potência, apresentando algumas desvantagens:

- É uma limitação mais lenta. Num evento que cause um aumento de carga, o RV demora mais para reduzir a potência do que com o limitador desenvolvido;
- A potência máxima pode ser excedida, mesmo que a referência esteja limitada, devido ao erro de frequência. No limitador desenvolvido, o limite de potência é sempre respeitado;

Em Jirau, o fabricante da turbina limita a operação acima da potência nominal a apenas 100 horas durante o período de garantia. Dessa forma, uma limitação rápida é importante para reduzir custos com manutenção.

3.2.2 Limitador de Máxima Abertura

O limitador de máxima abertura desenvolvido atua da mesma forma que um limitador convencional, definindo um valor máximo para a saída da malha de velocidade. A diferença é que o limite varia com a queda disponível.

Se o limitador de abertura estiver ajustado para restringir a máxima vazão na turbina, por exemplo, o limitador de abertura variável com a queda permite maior aproveitamento do potencial hidráulico que com a abertura fixa. Isso porque, com o valor fixo de abertura máxima, é preciso ajustá-lo com base na maior queda prevista. Se a queda está abaixo desse valor, a vazão e a potência obtidas para a abertura máxima serão menores que o que poderia ser aproveitado. Com o limite de abertura variável com a queda, a vazão poderia ser maior.

Além disso, o limitador de abertura com valor variável com a queda pode ser utilizado para limitar a região de operação conforme uma especificação particular do fabricante da turbina, como é o caso de Jirau.

3.2.3 Limitador de Mínima Potência

O limitador de mínima potência evita que a referência de potência fique abaixo de um determinado valor. Isso é utilizado para evitar a operação na zona de cavitação causada pela potência mínima. A razão de se ter o limitador é porque, em geral, essa limitação é realizada pela própria equipe de operação da usina. Com o limite implementado no regulador, se tem mais garantia de que a unidade não irá operar dentro dessa região de cavitação. Nessa região, também há um limite de horas de operação na garantia do fabricante.

3.2.4 Limitador de Cavitação

Esse limitador visa evitar a cavitação resultante da baixa pressão no lado de sucção. Isso ocorre quando o nível a jusante está baixo em relação à vazão turbinada. Nesse caso, uma abertura máxima deve ser respeitada, dada em função da queda e do nível a jusante. Tal limitação não está presente em RVs convencionais e é importante em turbinas do tipo bulbo, sujeitas a grande variação de nível e a cavitação. Como mostrado na Figura 6, o uso do limitador aumenta o aproveitamento do potencial hidráulico, se comparado com uma limitação de abertura fixa.

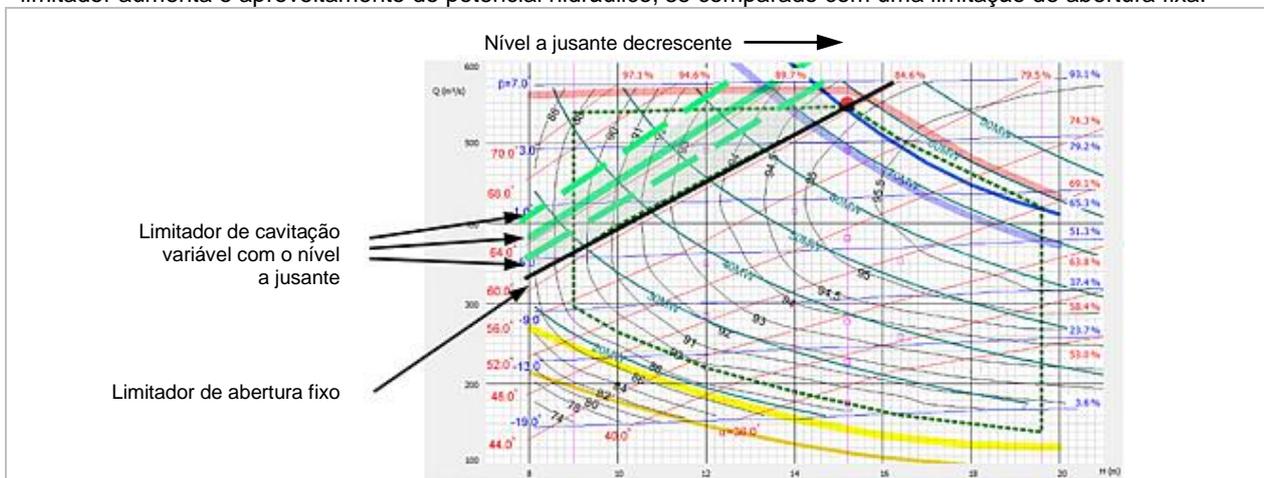


FIGURA 6 – Tela de monitoramento da curva de colina e limitadores de operação.

3.3 Limitador de Erro de Conjugação

O limitador de erro de conjugação também atua sobre a saída da malha de controle de velocidade. O valor limite é definido de forma que o erro de conjugação causado pela diferença de velocidade dos atuadores fique limitado.

Como mencionado na seção 2.2, o erro de conjugação em perturbações que requerem maior movimentação dos atuadores pode levar a oscilações de potência e frequência, e à perda de estabilidade da unidade. Isso ocorre, em particular, nos casos de operação isolada e ilhamento [1]. Devido à interligação por HVDC, esse é o caso na UHE Jirau. Uma vez que as pás do rotor são duas vezes mais lentas que o distribuidor, a ausência deste limitador pode tornar as unidades incapazes de contribuir para a estabilidade de frequência da ilha. Assim, um determinado evento de operação pode levar ao desligamento completo do complexo das UHEs Santo Antônio e Jirau.

3.4 Tratamento de Perturbações

Quando ocorre um evento no sistema que cause uma perturbação elevada a ser compensada pelo RV, o processo controlado possui uma característica dinâmica diferente e que pode ser mais sensível à instabilidade. Por exemplo:

- Desativação do controle de estabilização de frequência nos bipolos CC;
- Perturbação de frequência no complexo Santo Antônio-Jirau: trip de máquinas, por exemplo;
- Rejeição de carga por abertura de linha no lado de alta tensão das unidades.

Devido à condição dinâmica diferenciada durante esses eventos, é preciso uma adaptação dos ganhos do RV. Foram incluídas lógicas de detecção de perturbação, que trocam instantaneamente os ganhos da malha de controle e garantem a margem de estabilidade do sistema de controle durante o evento.

4.0 - RESULTADOS DE CAMPO

4.1 Controle Adaptativo

Na Figura 7, é apresentado o resultado de um degrau de carga em isolamento simulada, para carga baixa. Como o ajuste fixo é determinado em carga alta de forma a garantir as margens de estabilidade em todas as condições de operação, tal ajuste se torna conservador para outras condições de operação, como com carga baixa. O controle convencional demora mais tempo para compensar a variação da frequência simulada. Com isso, o desvio de frequência com o controle adaptativo é a metade do observado com a sintonia fixo. Durante um transitório que necessite de ação rápida do regulador, essa pode ser uma vantagem que reduza a amplitude da perturbação.

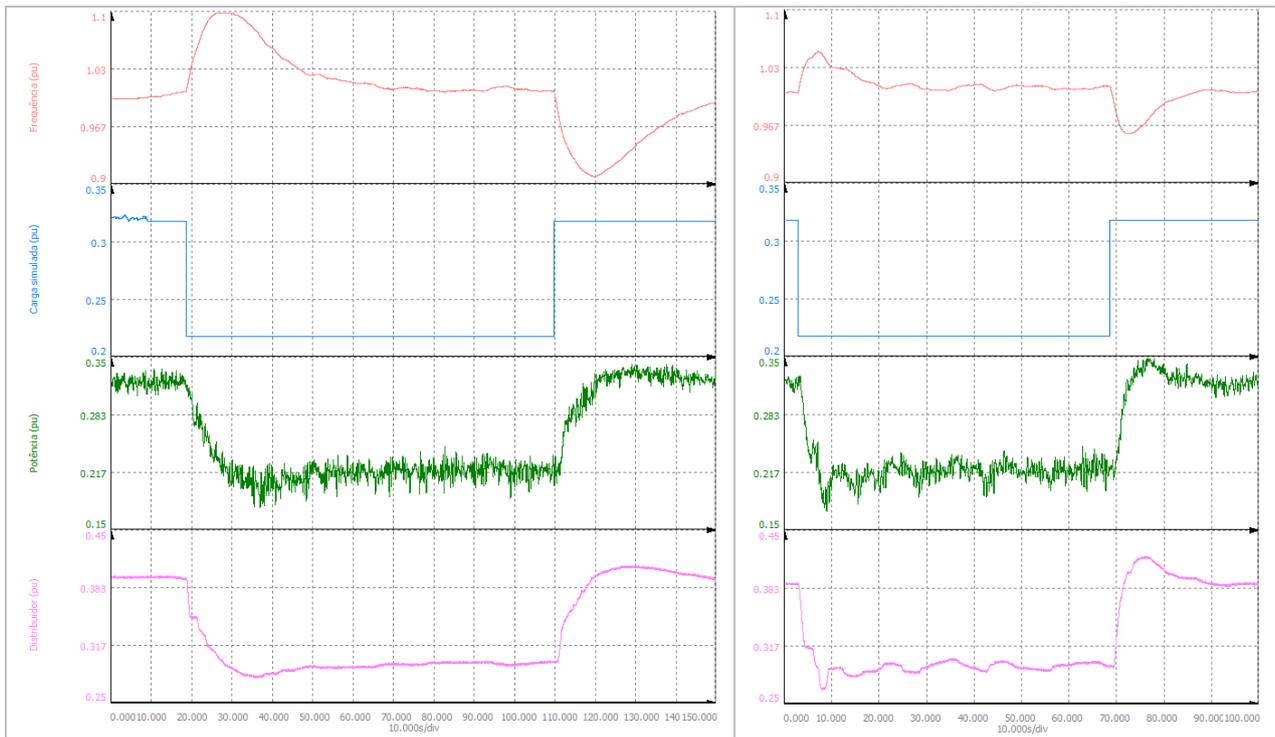


FIGURA 7 – Resposta ao degrau de carga em isolamento simulada.
Esquerda: controle adaptativo desabilitado. Direita: controle adaptativo habilitado.

4.2 Evento que levou a blackout nas UHEs Santo Antônio e Jirau

Em fevereiro de 2015, uma semana após o comissionamento do RV apresentado acima na UG33, ocorreu um evento na SE Araraquara, onde termina a linha HVDC que parte da SE Coletora Porto Velho. Neste evento, todas as unidades das UHEs Santo Antônio e Jirau saíram de operação, com exceção da UG33, que alimentou o sistema auxiliar da UHE Jirau. Após análise da ocorrência, foi comprovado que a unidade se manteve em operação devido às soluções de controle desenvolvidas, em especial à detecção de perturbações e a troca dos parâmetros de controle. Isso mostra que o controle ficou mais robusto, contribuindo para a estabilidade do SIN e evitando prejuízos com a parada das máquinas.

5.0 - MODELO DE SIMULAÇÃO E RESULTADOS

Nesta seção serão apresentadas simulações do Regulador de Velocidade mostrando o seu desempenho com as funcionalidades descritas nas seções anteriores que foram representadas no software de simulação de transitórios eletromecânicos ANATEM.

Será analisado o desempenho do RV através de simulações de eventos que ocasionem excursão de frequência. A metodologia utilizada é conhecida por teste de simulação de rede isolada e é descrita nas normas da IEEE Std 1207-2004 e IEC 60308 apresentadas respectivamente em [5] e [6].

As simulações apresentadas nesta seção tem como condição inicial uma unidade da UHE Jirau gerando 60% de Potência Ativa (50MW) alimentando uma carga com potência ativa de 50MW.

Primeiramente foi simulado um caso de ilhamento onde foi aplicado um degrau na carga simulada de -40% (-33,33 MW). Na figura 7 é apresentada a comparação de desempenho da unidade quanto à habilitação do controle adaptativo.

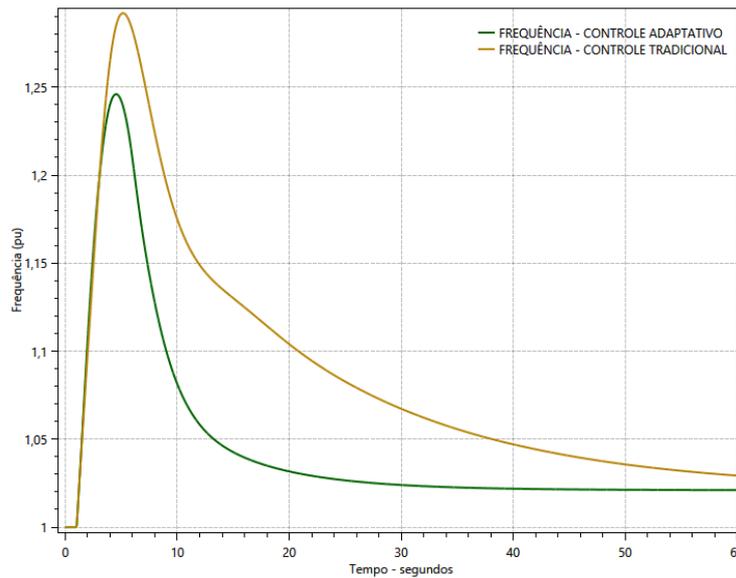


FIGURA 7 – Simulação de degrau de -40% na carga em isolamento simulada no ANATEM - controle adaptativo (verde) e controle tradicional (amarelo)

É possível observar o desempenho superior do RV quando este está com o controle adaptativo habilitado. Com o controle adaptativo o sobressinal da frequência e o tempo de restabelecimento foram menores.

Na UHE Jirau, o nível da água varia de 9 a 20 m, sendo o nível nominal 15,2 m. Assim em porcentagem o nível varia respectivamente 60% a 130%. Esta variação é muito superior à variação normal de nível de reservatório de usinas hidrelétricas, sendo mais um fator complicador a ser superado pelo controle do RV. Na figura 8 é repetida a simulação anterior sendo considerado o nível de 130%.

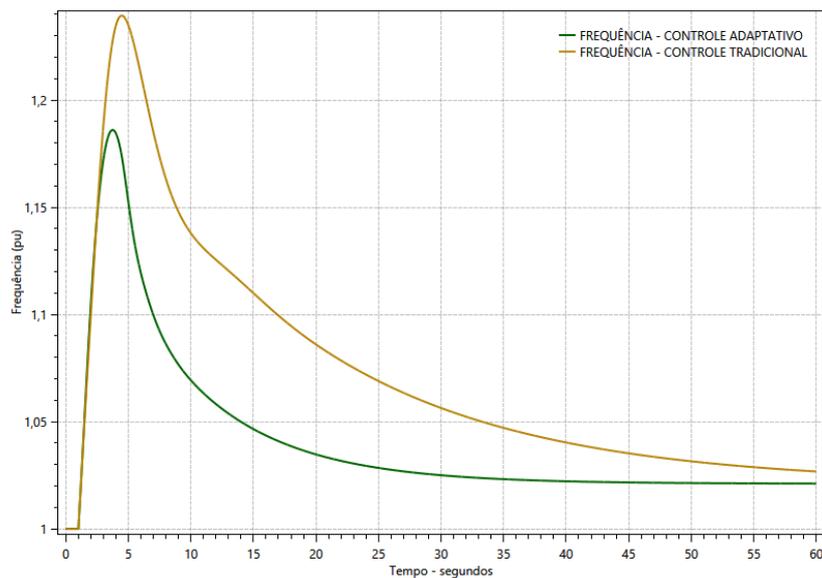


FIGURA 8 – Simulação de degrau de -40% na carga em isolamento simulada no ANATEM com nível a 19,76 m comparação de controle adaptativo (verde) e parâmetros fixos (amarelo)

No caso em que o nível estava em 130% o RV teve desempenho superior novamente quando o controle adaptativo estava habilitado, tendo sobressinal da frequência e tempo de reestabelecimento menores.

O RV implementado para a UHE Jirau possui, além do controle adaptativo, uma lógica de detecção de ilhamento. A detecção é feita quando a frequência lida está fora de uma faixa ajustável por um tempo, também ajustável. Após a detecção de Ilhamento o RV tomará as seguintes ações:

- Mudança do Estatismo permanente para um valor menor que o ajustado para o modo Interligado;
- Mudança da Banda Morta de Frequência permanente para um valor menor que o ajustado para o modo Interligado.

Foi simulado um degrau fixo na potência da carga simulada de -50,5% onde após a execução do degrau a potência gerada e a potência de carga vão para 9,5%. Na Figura 9, é mostrada a comparação do comportamento da frequência ao realizar o ilhamento simulado com e sem a detecção de modo de ilhamento pelo RV.

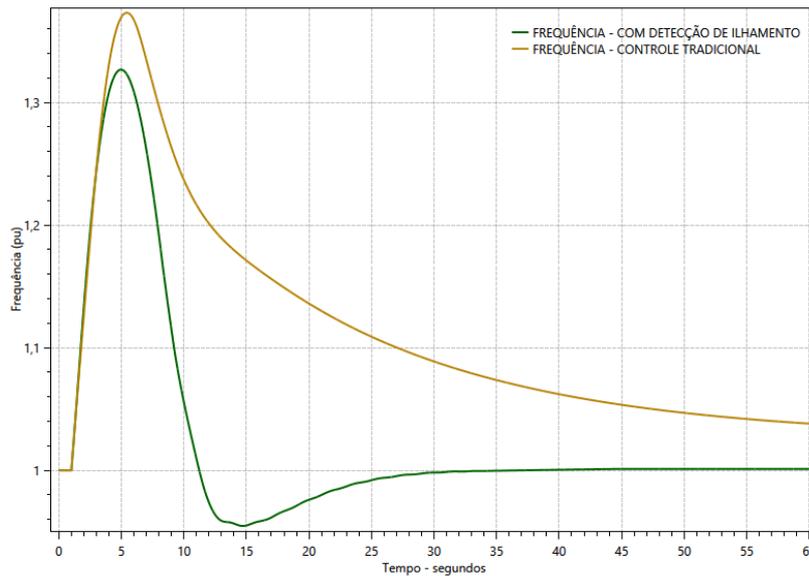


FIGURA 9 – Detecção de Ilhamento – Frequência

Percebe-se que o RV quando comuta de modo pela detecção de ilhamento, tem desempenho superior na regulação primária de frequência, onde o sobressinal da frequência e o tempo de restabelecimento foram menores.

6.0 - CONCLUSÃO

Neste artigo, foram apresentados os desafios de controle de velocidade encontrados na UHE Jirau. Foram discutidas as características da usina que levam a essa dificuldade de controle. Dadas essas características, foram apresentadas as soluções desenvolvidas e comissionadas na UHE Jirau, com o objetivo de aumentar a robustez dos sistemas de controle de velocidade. Pode-se concluir, pelos resultados apresentados, que as soluções de fato melhoraram a resposta do RV frente às características das unidades geradoras.

Também foi realizada a modelagem das soluções desenvolvidas no software ANATEM. Este é um trabalho fundamental para a compreensão dos efeitos dos reguladores instalados na margem esquerda da UHE Jirau sobre a estabilidade do SIN e da região.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GUSTAFSSON, M. *Improved Governing of Kaplan Turbine Hydropower Plants Operating Island Grids*. Dissertação de Mestrado – KTH Royal Institute of Technology – Estocolmo, Suécia.
- [4] IEEE. *Hydraulic turbine and turbine control models for system dynamic studies*. IEEE Transactions on Power Systems, v. 7, n. 1, p. 167-179, fev. 1992.
- [5] KUNDUR, P.; BALU, N.; LAUBY, M. *Power system stability and control*. McGraw-Hill, 1994.
- [6] IEEE 1207-2011. *IEEE Guide for the Application of Turbine Governing Systems for Hydroelectric Generating Units*, 2011.
- [7] IEEE Std 1207-2004 - IEEE Guide for the Application of Turbine Governing Systems for Hydroelectric Generating Units
- [8] IEC 60308 – Hydraulic Turbines – Testing of control systems

8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

	<p>Autor 1: Nome: Henrique A. Menarin Local/Ano nascimento: Castro/PR, 1986 Formação: Concluiu o mestrado em Engenharia de Automação e Sistemas na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) em 2013, pela aplicação de Controle Preditivo Baseado em Modelo em sistemas de excitação e reguladores de velocidade para usinas hidrelétricas. Graduou-se em Engenharia de Controle e Automação na UFSC em 2010. Experiência profissional: Atua na REIVAX S/A desde 2008 com Pesquisa e Desenvolvimento de sistemas de controle para geração de energia elétrica.</p>
	<p>Autor 2 Nome: Rafael Bertolini de Paiva Local/Ano nascimento: Florianópolis/SC, 1982. Formação: Graduação em Engenharia Elétrica (UFSC, 2009), Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (UNIFEI, 2014), Mestrado em Engenharia Elétrica (UNIFEI, em andamento). Têm experiência em comissionamento de sistemas de proteção e regulação, estudos especiais de modelagem de unidades geradoras e controladores, estudos gerais em sistemas de potência e consultorias especializadas.</p>
	<p>Autor 3: Nome: Lucas Manso da Silva Local/Ano nascimento: São Paulo/SP, 1989. Formação: Graduação em Engenharia Elétrica (UFSC, 2012), Mestrado em Engenharia Elétrica (UFSC, em andamento) Experiência profissional: Atua desde 2012 na Reivax S/A como engenheiro, tendo atuado em diferentes funções: engenheiro de campo (testes e comissionamento), estudos especiais (modelagem de unidades geradoras e controladores), estudos de transitórios eletromecânicos.</p>
	<p>Autor 4: Nome: Kleiton Schmitt Local/Ano nascimento: Florianópolis/SC, 1978. Formação: Graduação em Engenharia Elétrica (UFSC, 2002). Experiência profissional: Atua desde 2002 na Reivax S/A como engenheiro. De 2002 à 2011 como engenheiro de campo, trabalhando com teste e comissionamento, e até a presente data como supervisor da equipe de SERVICE.</p>
	<p>Autor 5: Nome: Cristiano Bühler Local/Ano nascimento: Passo Fundo/RS, 1983. Formação: Engenharia Elétrica (UFSC, 2006), Mestrado em Engenharia Elétrica (UFSC, em andamento). Experiência profissional: Atua desde 2007 na Reivax S/A como engenheiro, tendo atuado como engenheiro de campo (testes e comissionamento), estudos especiais (modelagem de unidades geradoras e controladores), supervisão da equipe de testes e comissionamento, engenheiro de projetos. Atualmente coordena o setor de capacitação técnica.</p>