

# ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DE UMA MÁQUINA SÍNCRONA E SEUS CONTROLES EM UM SISTEMA ELÉTRICO COM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA VIA ATPDRAW

L. M. Peres<sup>1</sup>, L. S. Marroques<sup>1</sup>, M. L. R. Chaves<sup>1</sup>, G. C. Guimarães<sup>1</sup>, F. A. M. Moura<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia – Minas Gerais  
[larissaa\\_mp@yahoo.com.br](mailto:larissaa_mp@yahoo.com.br), [marroques.lucas@gmail.com](mailto:marroques.lucas@gmail.com), [lynce@ufu.br](mailto:lynce@ufu.br), [gcaixetag@yahoo.com.br](mailto:gcaixetag@yahoo.com.br)

<sup>2</sup>Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba – Minas Gerais  
[fabricao@eletrica.ufm.edu.br](mailto:fabricao@eletrica.ufm.edu.br)

**Resumo** - Este artigo trata da modelagem e implementação, no programa ATP/ATPDraw, dos reguladores de velocidade e de tensão de um gerador síncrono, para estudos dos impactos da expansão da geração distribuída. Para a validação destas modelagens, é feita a análise do desempenho dinâmico do gerador síncrono de um Produtor Independente de energia (PI) conectado ao Sistema Elétrico de Distribuição, após uma perturbação no sistema. São avaliados aspectos da qualidade da energia elétrica e o comportamento dos controles de velocidade e de tensão do gerador.

**Palavras-Chave** – ATP/ATPDraw, geração distribuída, regulador de tensão, regulador velocidade, máquina síncrona.

## ANALYSIS OF THE BEHAVIOUR OF A SYNCHRONOUS MACHINE AND ITS CONTROLS IN A POWER SYSTEM WITH DISTRIBUTED GENERATION VIA ATPDRAW

**Abstract** - This paper deals with the modeling and implementation of synchronous machine speed governors and voltage regulators in the ATP/ATPDraw program so as to study the impacts of the expansion of distributed generation. To validate these models, it is performed the dynamic analysis of the synchronous generator of an Independent Power Producer (IPP) connected to the Power Distribution System, after a disturbance at the system. It is evaluated power quality factors and the performance of the generator speed and voltage controls.

**Keywords** – ATP/ATPDraw, distributed generation, speed governor, synchronous machine, voltage regulator.

### NOMENCLATURA

$J_m$  Momento de inércia (kg m<sup>2</sup>).  
 $\theta_m$  Ângulo mecânico (rad).

$H$  Constante de inércia (s).  
 $E_c$  Energia Cinética (J).  
 $\omega_m$  Velocidade angular mecânica (rad/s).  
 $D_m$  Coeficiente de amortecimento mecânico.  
 $T_a$  Torque acelerante (N.m).  
 $T_m$  Torque mecânico (N.m).  
 $T_e$  Torque elétrico (N.m).  
 $V_t$  Tensão terminal da máquina síncrona (pu).  
 $V_{ref}$  Tensão de referência (pu).  
 $K_a, K_e$  e  $K_f$  Ganhos do amplificador, da excitatriz e da malha de estabilização do regulador (pu).  
 $T_a, T_e, T_f$  e  $T_r$  Constantes de tempo do amplificador, da excitatriz, da malha de estabilização e do filtro de entrada do regulador de tensão (s).  
 $V_{max}$  e  $E_{max}$  Limites máximos da tensão de saída do regulador e da excitatriz (pu).  
 $V_{min}$  e  $E_{min}$  Limites mínimos da tensão de saída do regulador e da excitatriz (pu).  
 $E_f$  Tensão de campo (pu).  
 $S_n$  Potência aparente nominal (MVA).  
 $U_n$  Tensão nominal (kV).  
 $R_a$  Resistência de armadura (pu).  
 $x_L$  Reatância de dispersão da armadura (pu).  
 $x_d$  e  $x_q$  Reatâncias eixo direto e em quadratura (pu).  
 $x'_d$  e  $x'_q$  Reatâncias transitórias de eixo direto e em quadratura (pu).  
 $x''_d$  e  $x''_q$  Reatâncias subtransitórias de eixo direto e em quadratura (pu).  
 $x_0$  Reatância de sequência zero (pu).  
 $T'_{d0}$  e  $T'_{q0}$  Constantes de tempo transitórias de eixo direto e em quadratura (s).  
 $T''_{d0}$  e  $T''_{q0}$  Constantes de tempo subtransitórias de eixo direto e em quadratura (s).  
 $P$  Número de polos.  
 $f$  Frequência (Hz).  
 $\omega_s$  Velocidade síncrona (rad/s).  
 $G$  Ganho do flyball (pu).  
 $T_{fb}$  Constante de tempo do flyball (s).  
 $T_1, T_2$  e  $T_3$  Constantes de tempo do controle do regulador de velocidade (s).  
 $T_4$  Constante de tempo da partida da água (s).  
 $T_5$  Constante de tempo da turbina hidráulica/térmica (s).

## I. INTRODUÇÃO

O momento de crescimento econômico vivido pelo Brasil, aliado ao crescimento populacional, faz surgir uma crescente



XI CEEL – ISSN 2178-8308  
 25 a 29 de novembro de 2013  
 Universidade Federal de Uberlândia – UFU  
 Uberlândia – Minas Gerais – Brasil

demanda de energia elétrica em todo o território nacional. Em épocas passadas, os empreendimentos para suprir o aumento dessa demanda eram feitos sem as barreiras promovidas pelas questões sociais e ambientais que existem hoje. Diante das restrições atuais, ganhou destaque uma solução alternativa – a geração distribuída – a qual consiste na utilização de fontes renováveis, como a energia eólica, a fotovoltaica e a biomassa (esta última geralmente empregada em cogeração), conectadas em vários pontos do sistema elétrico. Por se tratar de construções de menor porte, estas podem enfrentar mais favoravelmente as questões sociais e ambientais, possuindo ainda como vantagem adicional a capacidade de diminuir as perdas na transmissão e distribuição da energia [1].

O crescimento do número de geradores distribuídos conectados a redes de distribuição de energia elétrica é um resultado da disseminação dessa solução. Sendo assim, torna-se imprescindível a busca de uma ferramenta computacional que permita a simulação do comportamento do sistema elétrico considerando a inserção de geradores distribuídos, tanto em funcionamento normal quanto após ser submetido a distúrbios. Isto é necessário para analisar o impacto da conexão dessas novas fontes de energia ao sistema. Entretanto, as representações que têm sido empregadas são normalmente realizadas a partir de programas mais extensos em forma de cartões (códigos) [2].

Dessa forma, devido a complexidade inerente de alguns programas, o presente artigo apresenta os modelos computacionais de reguladores de velocidade e de tensão desenvolvidos no ambiente ATPDraw através de ícones específicos. Essas modelagens permitem que o usuário possa alterar com facilidade os parâmetros dos componentes do sistema que deseja simular, além de ser uma interface de fácil compreensão e didática. Vale ressaltar que o *software* ATP, juntamente com a sua interface ATPDraw, são um pacote de simulação computacional que admitem análises no domínio do tempo de fenômenos transitórios.

De acordo com a referência [3], o aumento da inserção da geração distribuída pode afetar significativamente todos os tipos de estabilidade: frequência, tensão e ângulo do rotor. Quando o desempenho de gerador síncrono é analisado em um sistema de potência [4], é útil expressar o ângulo do rotor em termos de um ângulo elétrico que pode ser relacionado com a posição do rotor, denominado de ângulo de torque ou ângulo de potência ( $\delta$ ), sendo este o ângulo elétrico entre o fasor da força eletromotriz gerada ( $E_g$ ) e o fasor da tensão terminal ( $V_t$ ) resultante do gerador síncrono, como mostrado na Figura 1.

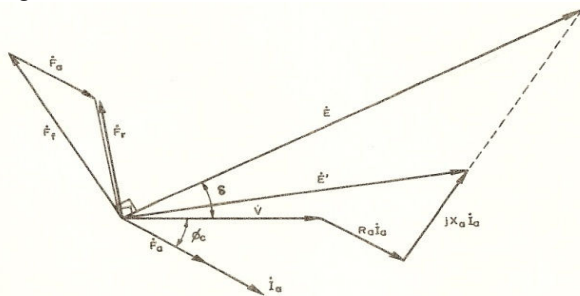


Fig. 1. Diagrama fasorial para a máquina síncrona

Dentro deste contexto, será feito um estudo de rejeição de carga, com o intuito de verificar aspectos de qualidade de energia e estabilidade do ângulo de potência. Além disso,

será analisada a influência dos reguladores de velocidade e de tensão durante a resposta do sistema para a contingência aplicada.

Portanto, primeiramente, este artigo tem como objetivo mostrar os modelos dos reguladores da máquina síncrona, implementados no ATPDraw. Em segundo lugar, a eficiência e a importância dos controles da máquina síncrona são investigadas com as simulações computacionais aqui apresentadas.

## II. MODELAGEM DO SISTEMA

Os componentes do sistema de distribuição utilizados correspondem, em parte, àqueles já disponibilizados na biblioteca do *software* ATPDraw, e outros, foram modelados e inseridos no programa. Assim procedendo, tornou-se possível a representação em uma interface visual do gerador do Produtor Independente conectado ao sistema de distribuição de energia elétrica. Dentro do contexto de geração distribuída, será realizado um estudo considerando aspectos relacionados à estabilidade, uma vez que os problemas dela advindos, usualmente encontrados em sistema de transmissão, podem passar a ocorrer também nas redes de distribuição devido à inserção dos Produtores Independentes de energia. Neste caso, a máquina primária é uma turbina térmica cujo vapor é oriundo da queima do bagaço da cana-de-açúcar numa indústria sucroalcooleira.

### A. Modelo Matemático do Gerador Síncrono

Foi utilizado o modelo da máquina síncrona do ATP, referida como SM tipo 59 controlada, para representar o gerador do Produtor Independente. As equações utilizadas para representar a máquina síncrona no ATPDraw são baseadas nas referências [5,6].

A equação de oscilação que governa o movimento da máquina está indicada em (1):

$$J_m \frac{d^2 \theta_m}{dt^2} + D_m \frac{d\theta_m}{dt} = T_m - T_e = T_a \quad (1)$$

O momento de inércia da máquina síncrona na velocidade nominal é dado pela equação (2), seguida pelas equações da energia cinética (3) e velocidade angular mecânica (4):

$$H = \frac{E_c}{S_n} \quad (2)$$

$$E_c = \frac{1}{2} J_m \omega_m^2 \quad (3)$$

$$\omega_m = \frac{d\theta_m}{dt} \quad (4)$$

### B. Modelo Matemático do Regulador de Tensão

O *software* ATP não apresenta em sua biblioteca os modelos de reguladores da máquina síncrona, mas possui mecanismos para a elaboração destes modelos que não estão disponíveis. Sendo assim, foi necessário a modelagem e implementação dos controladores do gerador síncrono.

O regulador de tensão desenvolvido é baseado no modelo recomendado pelo IEEE denominado Tipo I [5,7]. A Figura 2 mostra o diagrama de blocos para este regulador.

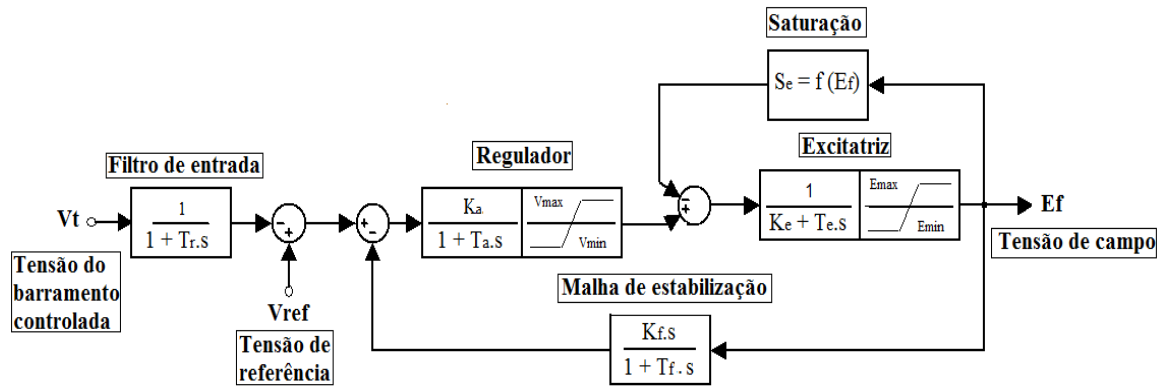
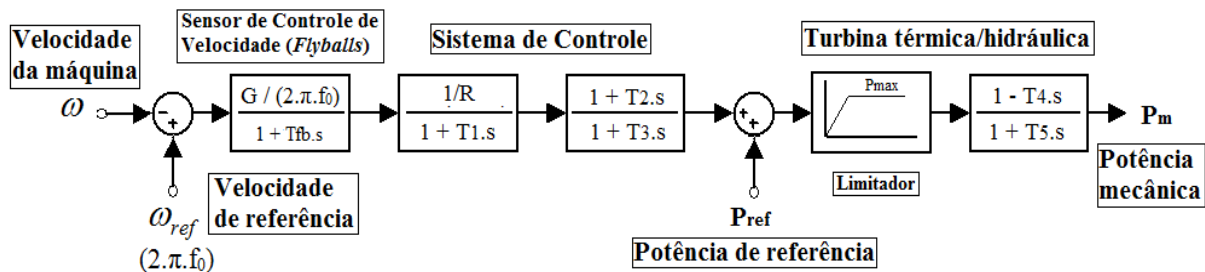


Fig. 2. Diagrama de blocos do Regulador de Tensão: modelo do IEEE Tipo1

### C. Modelo Matemático do Regulador de Velocidade

O regulador de velocidade desenvolvido está de acordo com a referência [7]. A Figura 3 apresenta o diagrama de blocos para este regulador associado a uma turbina a vapor.



Obs: Para turbina hidráulica tem-se  $T_4 \neq 0$  ( $T_4 = T_5 \times 2$ ).

Fig. 3. Diagrama de blocos do Regulador de Velocidade

### D. Modelos Computacionais dos Reguladores no ATP

Para a modelagem dos reguladores do gerador síncrono foi utilizada a rotina DBM ("Data Base Module") do ATP. Essa função permite criar uma biblioteca de modelos, facilitando e melhorando a utilização do programa em diferentes simulações. A rotina DBM possibilita a criação de um módulo, formado por um ou mais componentes, para o desenvolvimento do arquivo a ser simulado.

De acordo com os parâmetros mencionados, foram criados os módulos dos controladores da máquina síncrona. Foi utilizada a linguagem de programação do ATP denominada *Transient Analysis of Control Systems – TACS* [8], que permite a implementação dos reguladores em forma de diagramas de blocos.

Depois disso, cada modelo desenvolvido foi associado com um ícone para dar uma representação visual ao componente modelado, a fim de ser utilizado no programa ATP através da interface *ATPDraw*. Assim, a Figura 4 apresenta os ícones incorporados aos dispositivos modelados.



Regulador de Tensão Regulador de Velocidade  
Fig. 4. Ícones dos reguladores modelados

### E. O Sistema Elétrico Estudado

Para a validação das modelagens apresentadas, e com o intuito de avaliar a influência dos reguladores mediante a aplicação de uma contingência comum aos sistemas elétricos de distribuição, será feita uma análise do desempenho do gerador síncrono do PI após uma rejeição de carga. O Sistema Elétrico utilizado na realização do estudo de caso baseia-se no diagrama unifilar extraído da referência [2], o qual retrata um sistema de distribuição conectado ao produtor independente através de um disjuntor de interconexão e um transformador de isolamento [9], Figura 7, contendo todos os dados dos componentes do sistema.

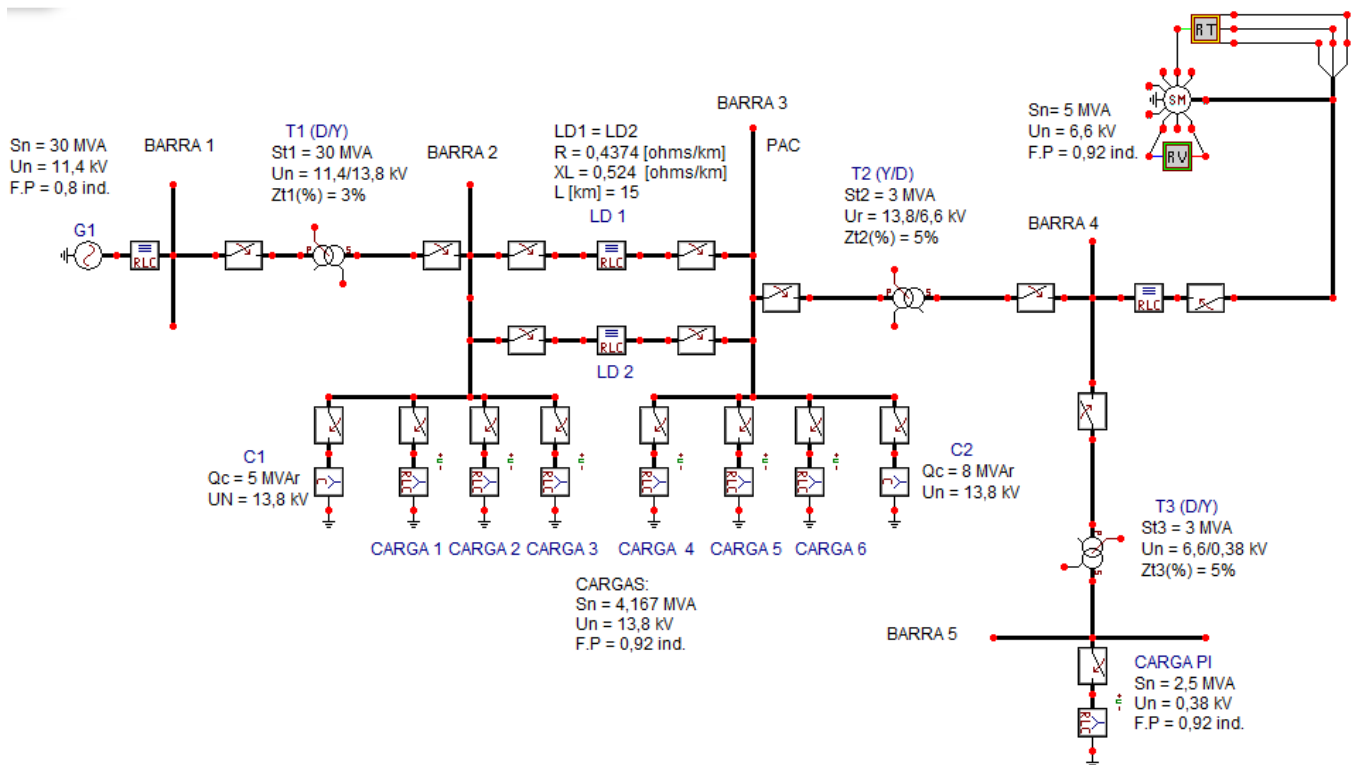


Fig. 7. Sistema Elétrico Simulado no ATPDraw

A Tabela I apresenta as potências ativa e reativa inicialmente geradas pela concessionária ( $G_1$ –barramento infinito) e pelo gerador do Produtor Independente ( $G_{PI}$ ).

Tabela I - Potências ativa e reativa geradas pelo sistema

Fonte	$P_G$ [MW]	$Q_G$ [MVar]
$G_1$	24,44	0,501
$G_{PI}$	3,525	1,454

A Tabela II mostra os parâmetros da máquina síncrona do Produtor Independente de energia (PI).

Tabela II - Parâmetros do gerador síncrono do PI

Parâmetros	Valores	Parâmetros	Valores
$S_n$ (MVA)	5,0	$X_0$ (pu)	0,046
$U_n$ (kV)	6,6	$T'_{d0}$ (s)	1,754
$R_a$ (pu)	0,004	$T''_{d0}$ (s)	0,0
$X_L$ (pu)	0,1	$T'''_{d0}$ (s)	0,019
$X_d$ (pu)	1,8	$T''''_{d0}$ (s)	0,164
$X_q$ (pu)	1,793	H(s)	2,0
$X''_d$ (pu)	0,166	P (polos)	4,0
$X''_q$ (pu)	0,98	f (Hz)	60,0
$X'''_d$ (pu)	0,119	$\omega_s$ (rad/s)	188,5
$X'''_q$ (pu)	0,17		

### III. SIMULAÇÕES E RESULTADOS

Para realizar a análise dinâmica do gerador foi aplicado o seguinte tipo de perturbação no sistema: rejeição da carga 4 conectada na barra 3, isto é, no Ponto de acoplamento Comum – PAC entre o gerador do PI e o sistema de distribuição. Para efeito de comparação, dois cenários serão aqui investigados:

I - Gerador do Produtor Independente (PI), conectado ao sistema elétrico, com os reguladores desativados;

II - Gerador do Produtor Independente (PI), conectado ao sistema elétrico, com os reguladores ativados.

Inicialmente o sistema elétrico opera na condição de regime permanente e, no instante  $t = 3$  [s], é então simulada a rejeição ou desligamento da carga 4, conectada na barra de número 3.

Para um melhor entendimento dos resultados simulados, a resposta do sistema será apresentada pela curva na cor verde quando os reguladores de tensão e de velocidade do gerador do PI estão ativados, e na cor vermelha, quando os mesmos estão desativados.

O comportamento das tensões no PAC (barra 3), na presença do PI, sem e com a atuação dos seus reguladores, podem ser observadas na Figura 8. Na situação sem reguladores, a tensão (cor vermelha) se eleva subitamente no instante do distúrbio, apresenta uma pequena oscilação e continua crescendo de forma suave, fato este explicado pelo excesso de potência reativa antes entregue à carga que foi rejeitada. Contudo, esta se estabiliza em 1,1458 pu. Ressalta-se que o valor nominal da tensão no PAC é de 1,051 [pu].

Com relação à situação com reguladores, a tensão (cor verde) também apresenta inicialmente uma elevação brusca, atingindo o valor máximo de 1,1367 [pu], e, em seguida, devido à atuação do regulador de tensão, esta se reduz com algumas pequenas oscilações até se estabilizar em 1,088 pu. Esses resultados deixam evidente a necessidade do regulador de tensão no produtor independente.

Tal fato se reflete veementemente na qualidade da energia elétrica experimentada pelos consumidores diretamente instalados no PAC, uma vez que, tal anomalia, resulta em diminuição da vida útil dos equipamentos elétricos, e, além disso, pode originar operações indesejadas de equipamentos eletroeletrônicos microprocessados e computadorizados. Estes dispositivos foram projetados para operarem dentro de uma determinada faixa de variação de tensão, também

conhecida como curva CBMA – *Computer Business Manufactures Association*, que trata de uma referência para a operação eficaz dos equipamentos computadorizados perante situações de sobre ou subtensão [10]. Desta forma, como a tensão em regime permanente na barra 3 está acima dos limites estabelecidos em legislação [11], uma medida corretiva poderia ser aplicada, como, por exemplo, a desconexão do banco de capacitores instalados no PAC, ou mesmo a instalação de um reator de núcleo saturado apto a absorver o excesso de reativo do sistema.

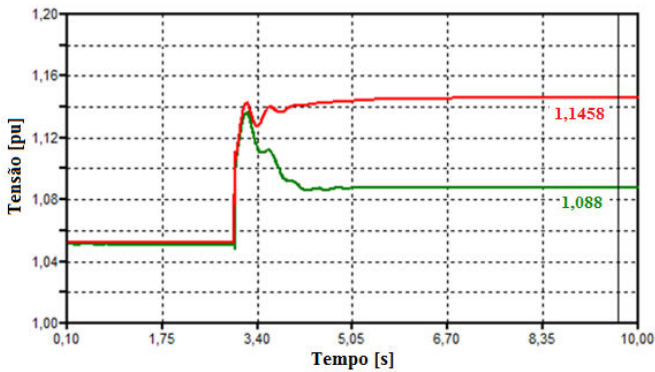


Fig. 8. Tensões na barra 3: reguladores desativados (cor vermelha) e reguladores ativados (cor verde)

No que se refere à magnitude da tensão na barra de geração do PI, a Figura 9 mostra uma acentuada elevação de tensão na barra 4. Vislumbra-se através da curva em vermelho (sem controladores) uma sobretensão e sua posterior estabilização em 1,0887 [pu]. Considerando que muitos equipamentos de uma instalação elétrica são projetados para operarem eficientemente somente dentro de uma determinada faixa de tensão, excursões para fora desta faixa poderão conduzir a um baixo desempenho e até mesmo danificar esses elementos. Já a curva em verde mostra inicialmente, uma elevação de tensão, valor máximo de 1,071 [pu], seguido de uma flutuação de tensão e decréscimo da mesma, estabilizando em 1,0019 [pu]. Isto ocorreu devido à atuação do regulador de tensão, retirando a excitação da mesma, de tal forma a alcançar, por alguns segundos, seu limite inferior de  $E_{min} = 0,5$  [pu], como pode ser visto na Figura 10. Em seguida, o regulador de tensão aumenta a excitação da máquina, estabilizando em aproximadamente 0,73 [pu], no sentido de manter a tensão terminal do gerador do PI dentro de limites pré-definidos [11].

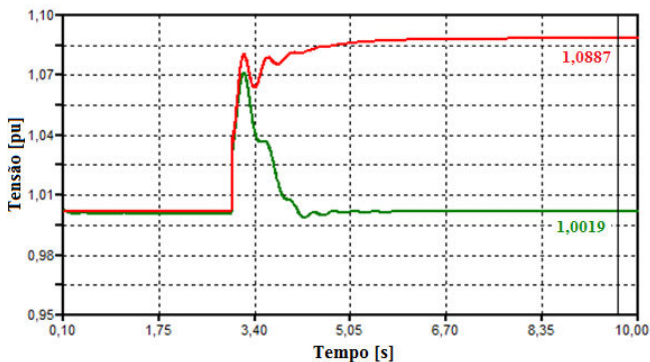


Fig. 9. Tensões na barra 4: reguladores desativados (cor vermelha) e reguladores ativados (cor verde)

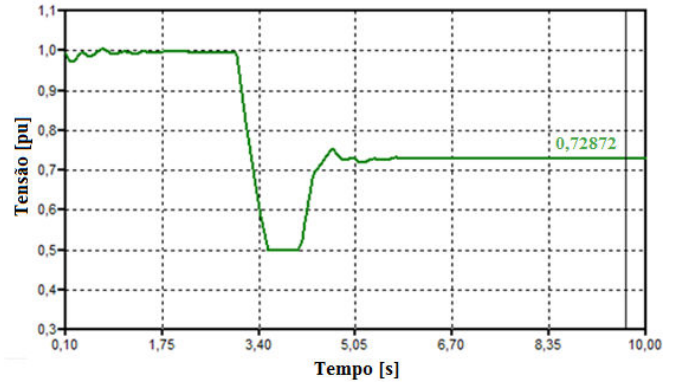


Fig. 10. Resposta do regulador de tensão

Na Figura 11 é apresentado o comportamento do ângulo de potência do gerador do PI quando os reguladores da máquina estão ativados (em verde), e quando os mesmos estão desativados (em vermelho). De acordo com [12], a potência ativa fornecida pelo gerador síncrono do PI à carga nos seus terminais pode ser expressa em regime permanente por (5).

$$P = \frac{V_t E_g}{x_s} \text{sen}(\delta) = P_{\max} \text{sen}(\delta) \quad (5)$$

Inicialmente, será feita uma análise para a curva em vermelho da Figura 11. Após a rejeição da carga 4 do sistema, a tensão terminal ( $V_t$ ) aumentou, de acordo com a Figura 9, e para manter a potência ativa constante, o ângulo de potência deve diminuir, como é mostrado na Figura 11, estabilizando em  $34,194^\circ$ , mantendo a estabilidade do sistema.

Neste momento, será feita uma análise do comportamento do ângulo de potência da máquina do PI quando os seus reguladores estão ativados (curva em verde).

Conforme foi mostrado na Figura 10, o regulador de tensão atuou no sentido de diminuir a excitação do gerador e compensar o aumento de tensão detectado nos terminais da máquina. Sendo assim, sua ação manteve a tensão terminal ( $V_t$ ) constante, como mostrado na Figura 9, mas a tensão interna do gerador (força eletromotriz -  $E_g$ ) diminuiu, como um resultado direto da diminuição da corrente de excitação do gerador do PI. E, após a rejeição de carga, a máquina síncrona mantém constante a sua geração de potência ativa. Portanto, em decorrência destes fatos, o gerador do PI aumentará o seu ângulo de potência, para continuar atendendo a sua demanda interna de energia elétrica e fornecer a mesma potência elétrica à rede de distribuição.

O comportamento do ângulo de potência (em verde) é mostrado na Figura 11. Inicialmente, o valor deste ângulo é de  $37,86^\circ$ . Após a rejeição de carga, seu valor cai e depois se eleva veemente, apresenta uma pequena oscilação e estabiliza em torno de  $56,9^\circ$ , mantendo a estabilidade do sistema. Porém, devido ao alto valor do ângulo de operação, o gerador fica mais vulnerável a perda de sincronismo.

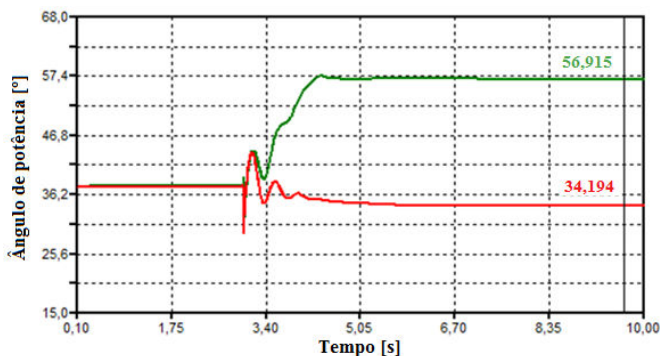


Fig. 11. Ângulo de potência do gerador do PI: reguladores desativados (cor vermelha) e reguladores ativados (cor verde)

#### IV. CONCLUSÕES

Devido ao aumento da geração de energia proveniente de fontes limpas e renováveis, é de suma importância analisar o impacto da conexão dessas novas fontes de energia no sistema elétrico de distribuição. Nesse intuito, o presente artigo apresentou a modelagem computacional, no programa ATP/ATPDraw, do gerador síncrono e dos seus reguladores de velocidade e de tensão. Foram discutidas as metodologias utilizadas e os procedimentos agregados ao programa utilizado, através da estrutura TACS e DBM, para a modelagem dos dispositivos mencionados.

Todos os dispositivos simulados têm agora um ícone específico e pode ser facilmente manipulado pelos usuários do ATPDraw. A individualidade de cada componente permite a sua utilização independente em qualquer parte do sistema. Para validar as modelagens apresentadas foi realizada uma análise de desempenho do gerador síncrono do PI conectado ao sistema elétrico de distribuição, tendo em vista o comportamento da máquina após a rejeição de carga.

A contingência aplicada gera uma sobretensão que pode danificar os equipamentos elétricos do sistema. A presença do gerador do produtor independente com os seus controles teve uma influência significativa no comportamento do sistema perante a perturbação aplicada, no sentido de contribuir para uma melhoria no nível da magnitude da tensão na situação pós-perturbação. A ação do regulador de tensão não somente manteve a tensão terminal da máquina síncrona (gerador do PI) dentro de limites pré-definidos, como também auxiliou no restabelecimento do sistema, melhorando a estabilidade global do mesmo.

Sendo assim, é essencial analisar o impacto que a inclusão de geradores distribuídos pode causar ao sistema, de modo que este possa atender consumidores com um padrão adequado de qualidade de energia. Portanto, é importante ressaltar que a modelagem correta e eficiente da máquina síncrona e de seus reguladores são fatores essenciais para o funcionamento eficiente e adequado sob tal contingência que poderia acontecer em qualquer sistema de distribuição.

#### AGRADECIMENTOS

Este trabalho recebeu apoio financeiro do Ministério da Educação por meio da CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior, e também apoio institucional da Universidade Federal de Uberlândia.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] LORA, E. E.; Haddad, J.; et al; - “Geração Distribuída: Aspectos Tecnológicos, Ambientais e Institucionais”, Editora Interciência Ltda, 2006.
- [2] MOURA, F. A. M., - “Geração Distribuída - impactos e contribuições para a Qualidade da Energia Elétrica e Dinâmica dos Sistemas elétricos - uma análise através do Atp - Emtp”, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, 2011.
- [3] GOMES, P., Schilling, M. T., J. W. M. et al. - “Geração distribuída: vantagens, problemas e perspectivas”. XII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 1999.
- [4] GUIMARÃES, G. C; - Dinâmica de Sistemas Elétricos – Curso – Parte I: “Modelagem de uma Máquina Síncrona e seus Controles para Estudos de Estabilidade Transitória”, Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Uberlândia, 2009.
- [5] ANDERSON, P. M.; FOUAD, A. A., - “Power System Control and Stability”, Second Edition. Iowa, IEEE Press, A John Wiley & Sons, Inc., Publication, 2003.
- [6] KUNDUR, P.; - “Power Systems Stability and Control”, McGraw-Hill, EPRI, Power Systems Engineering Series, New York, 1994.
- [7] GUIMARÃES, G. C.; - “Computer Methods for Transient Stability Analysis of Isolated Power Generation Systems with Special Reference to Prime Mover and Induction Motor Modelling”, PhD Thesis, University of Aberdeen, 1990.
- [8] CAUE - Argentine Committee of User EMTP-ATP, Rule Book, 2001.
- [9] Long Island Power Authority - LIPA, “Control and Protection Requirements for Independent Power Producers, Primary Distribution Interconnections”, encontrado em 22/09/2012, no [http://www.nyiso.com/public/webdocs/services/planning/ferc\\_form\\_715/part4/lipa\\_interconnection\\_guide.pdf](http://www.nyiso.com/public/webdocs/services/planning/ferc_form_715/part4/lipa_interconnection_guide.pdf).
- [10] BOLLEN, M. H., - “Understanding Power Quality Problems: Voltage Sag and Interruptions”, *IEEE Press Series on Power Engineering*, 2000.
- [11] Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Resolução Nº 505, 26 de Novembro de 2001.
- [12] GUIMARÃES, G. C.; - Dinâmica de Sistemas Elétricos – Curso – Parte II: “Modelagem de um Sistema Elétrico para Estudo de Estabilidade e Rejeição de Carga”, Universidade Federal de Uberlândia, 2009.