



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

GAT 29
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO IV

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

OTIMIZAÇÃO E VALIDAÇÃO DO REGULADOR DE VELOCIDADE DA SEGUNDA ETAPA DA UHE TUCURUÍ PARA A OPERAÇÃO ISOLADA E INTERLIGADA AO SIN

**Jânio de Lana *
ELETRONORTE**

**Venilton R Oliveira
ONS**

**Carlos Aviz
ELETRONORTE**

**Paulo Lopes
ALSTOM**

RESUMO

O presente artigo tem o objetivo de mostrar as ações decorrentes da análise da perturbação do dia 20/12/2005 às 12:40Min que levou ao ilhamento do estado do Pará [1]. Uma das recomendações deste relatório foi analisar o desempenho dos reguladores de velocidade da segunda etapa da UHE Tucuruí que não tiveram um comportamento adequado durante esta ocorrência. Portanto, neste artigo será abordado o levantamento do modelo do regulador de velocidade baseado nos ensaios de campo, o resultado dos ensaios para três conjuntos de ajustes do regulador e o desempenho do Sistema Interligado Nacional (SIN) para as simulações da ocorrência estando o regulador com os ajustes antigos e com os ajustes otimizados implementados em campo.

PALAVRAS-CHAVE

Otimização de controladores, regulador de velocidade, análise de contingências e interligações sistêmicas.

1.0 - INTRODUÇÃO

No dia 20/12/2005 às 12:40Min houve uma perturbação no SIN que levou a separação da área Pará [1] isolando esta do sistema, Figura 1. Nesta ocorrência, que teve início com o desligamento automático acidental da LT 500 kV Marabá - Imperatriz C 1, durante a realização de serviços no Reator de linha RE-2 no terminal da SE Marabá. Considerando que nesta ocasião as LTs 500 kV Marabá - Imperatriz C 2 e Açailândia – Presidente Dutra já se encontravam desligadas para controle de tensão, todo o fluxo de potência ativa da geração da UHE Tucuruí que fluía da SE Marabá para as SEs Imperatriz e Açailândia, passou a fluir pelas LTs 500 kV Marabá - Açailândia C 1 e C 2 e Açailândia – Imperatriz. Ocorreu então o desligamento automático desta última LT no terminal da SE Imperatriz, por atuação da proteção de distância em função do carregamento, provocando uma sobrefreqüência na área isolada. A Figura 2 apresenta o diagrama esquemático do sistema Norte/Nordeste do SIN.

(*)



Figura 1 – Mapa Eletro-geográfico da região

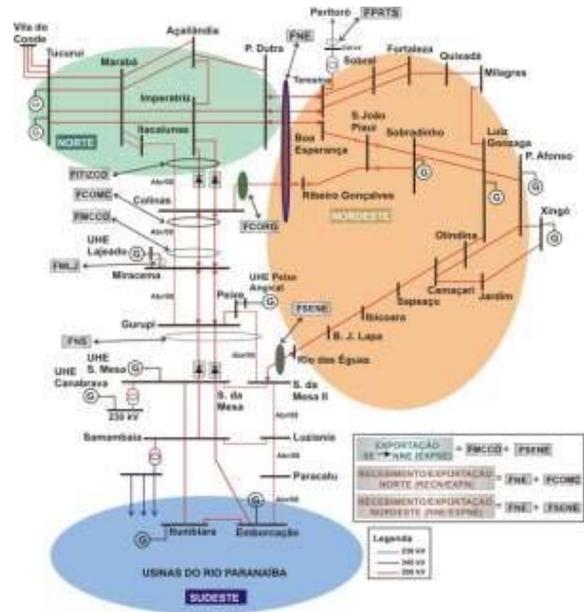


Figura 2 – Diagrama esquemático

Devido à abertura dos circuitos que interligavam a área do Pará com o SIN, houve a atuação do esquema de controle de emergência (ECE), que levou ao desligamento de 4 unidades geradoras no primeiro instante. Em função da elevada sobrefreqüência, os distribuidores das unidades geradoras da primeira etapa foram fechados, pela atuação correta do regulador de velocidade, para reduzir o montante de geração excedente no sistema. Levando assim, a inversão de potência na unidade geradora e a atuação da proteção de potência reversa, retirando estas do sistema. As 6 unidades geradoras da segunda etapa, que estavam sincronizadas ao SIN, permaneceram em operação.

Devido a este fato, foram realizadas análises pelo ONS em conjunto com a ELETRONORTE, referente ao desempenho dinâmico do regulador de velocidade durante a ocorrência. Verificou-se que a resposta dinâmica para segunda etapa da UHE Tucuruí não estava adequado, sendo, portanto, necessário uma otimização deste controlador. Para isto foram propostos ajustes otimizados, tanto do ONS quanto da ALSTOM, fabricante do equipamento, e agendados ensaios para avaliação e implementação dos mesmos em campo.

2.0 - DESCRIÇÃO DO MODELO DO REGULADOR DE VELOCIDADE

O regulador de velocidade da 2ª etapa da UHE Tucuruí é de fabricação da ALSTOM, sendo do tipo servo posicionador, com o controle proporcional integral. A malha de estabilização do regulador pode ter realimentação da ordem de posição, na Figura 3, ou da potência medida, FIGURA 4. Para a UHE Tucuruí foi definida como realimentação a ordem de posição do distribuidor.

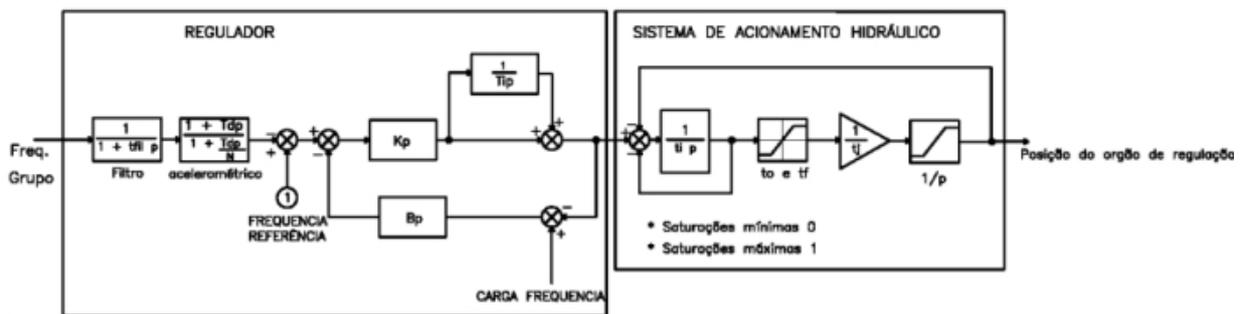


Figura 3 – Modelo do regulador de velocidade com realimentação de abertura

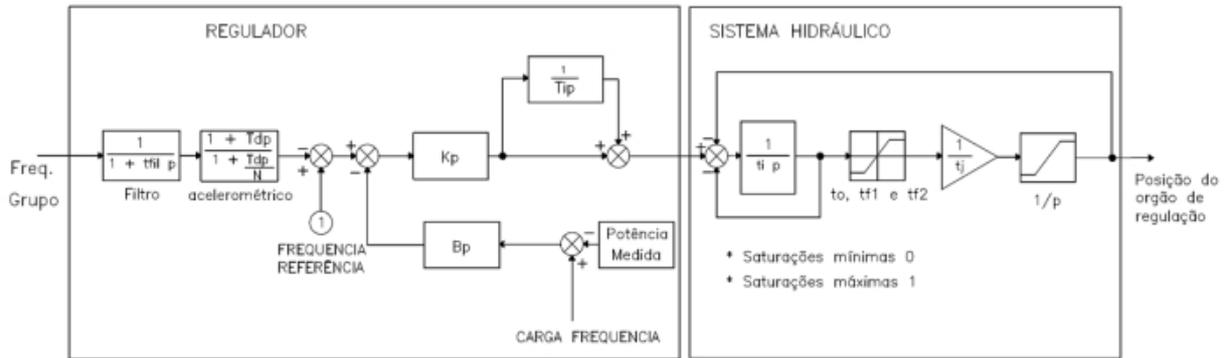


FIGURA 4 – Modelo do regulador de velocidade com realimentação de potência

Durante os ensaios de comissionamento para a entrada em operação comercial da usina foram implementados os ajustes definidos na Tabela 1. Cabe ressaltar, que os valores das constantes de tempo t_i e t_j não são ajustáveis, sendo estas constantes hidráulicas. O valor de t_j informado pelo fabricante foi de 0,1 segundos, entretanto como esta é uma constante de tempo de um equipamento hidráulico este valor foi considerado muito baixo. Para a confirmação deste valor foi realizado o ensaio de água morta, onde se define a constante de tempo do distribuidor, a velocidade de abertura e a velocidade de fechamento do mesmo.

Tabela 1 – Conjunto de ajustes do Regulador de Velocidade

| Parâmetros | Definição | Valor |
|------------|---|-------|
| BP | Estatismo Permanente | 0,05 |
| Kp | Ganho proporcional | 0,50 |
| Td | Constante de tempo do acelerômetro (s) | 0,40 |
| Ti | Constante de tempo do integrador (s) | 5,40 |
| tfil | Constante de tempo do filtro de medição (s) | 0,05 |
| ti | Constante de tempo da válvula piloto (s) | 0,016 |
| Tj | Constante de tempo do servomotor (s) | - |

3.0 - LEVANTAMENTO DO SISTEMA HIDRÁULICO

O bom desempenho do sistema de regulação de velocidade, bem como da usina durante o desequilíbrio de carga e geração, quando da ocorrência de contingências, depende do funcionamento adequado do sistema hidráulico do regulador. Portanto, o levantamento da constante de tempo deste sistema é de grande importância para uma boa modelagem do regulador de velocidade.

Para a determinação da constante de tempo do distribuidor foi realizado o ensaio de água morta, onde a unidade geradora é desligada do sistema, o duto de água é esvaziado e é aplicado um degrau na ordem de posição, que é entrada do sistema hidráulico, sendo registrado a dinâmica da abertura do distribuidor. A Figura 5 apresenta o diagrama de blocos do sistema hidráulico a ser modelado.

Após a obtenção dos registros de campo foram realizadas simulações para a validação do modelo, como pode ser observado na Figura 6, onde a curva em vermelho corresponde ao registro de campo e a curva em azul à simulação. Portanto, verifica-se que o modelo apresenta uma resposta compatível com o equipamento do campo.

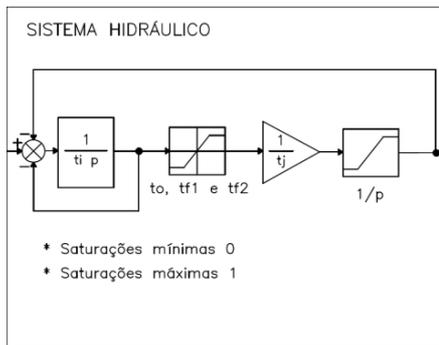


Figura 5 – Diagrama de blocos do sistema hidráulico

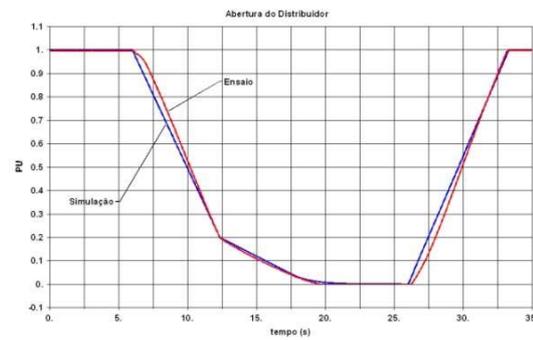


Figura 6 – Abertura do Distribuidor

4.0 - VALIDAÇÃO DO REGULADOR DE VELOCIDADE

Durante o período dos ensaios foram realizados testes com o gerador em vazio e em carga, estando o regulador de velocidade com os ajustes antigos, encontrados em campo, com os ajustes propostos pelo ONS e os propostos pela ALSTOM, Tabela 2.

Baseado nos resultados obtidos durante os ensaios e nas simulações [2], pode-se concluir que os ajustes encontrados em campo estavam inadequados, produzindo uma resposta muito lenta, que para as simulações de transitórios eletromecânicos é quase equivalente ao regulador bloqueado.

Com relação aos ajustes propostos, constatou-se que com ambos os ajustes recomendados pelo ONS e pela ALSTOM produziram uma resposta rápida, sendo o ajuste ONS um pouco mais rápido. Como o regulador de velocidade permite até quatro conjuntos de ajustes, então os ajustes do ONS foram implementados para a operação da unidade geradora interligada ao SIN e o ajuste ALSTOM para a unidade isolada do sistema.

A seguir serão apresentados os resultados dos ensaios realizados, bem como a validação do modelo do referido regulador.

Tabela 2 – Ajustes para o regulador de velocidade

| Parâmetros | Definição | ALSTOM | ONS | Campo |
|------------|------------------------------------|--------|------|-------|
| Bp | Estatismo permanente | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Bt | Estatismo transitório | 0,50 | 0,40 | 2,00 |
| Td | Constante de tempo do Integrador | 7,50 | 5,00 | 5,40 |
| Tn | Constante de tempo do Acelerômetro | 0,67 | 0,67 | 0,40 |
| N | Ganho da ação derivativa | 10,0 | 10,0 | 10,0 |

4.1 Ensaio em Vazio

Para avaliar a desempenho dos ajustes para o regulador de velocidade foram realizados ensaios com a unidade geradora em vazio, isto é, desconectada do SIN e aplicado degrau na referência de velocidade.

A Figura 7 apresenta a frequência da unidade geradora com os ajustes recomendados pelo ONS, nesta pode-se verificar que o modelo apresenta um amortecimento um pouco maior que o resultado obtido em campo. Mas, apesar desta diferença o modelo foi considerado adequado para a utilização nas simulações. Outro fato importante, é que para obter o desempenho mais próximo ao ensaio de campo, foi necessário incluir um amortecimento negativo para a turbina, o que aproxima ainda mais o desempenho do modelo ao equipamento real.

Com os ajustes recomendados pela ALSTOM, Figura 8, o desempenho da frequência foi um pouco mais lenta que com o ajuste do ONS, no entanto com um sobre sinal menor e com um amortecimento maior, sendo considerado mais adequado para a operação isolada.

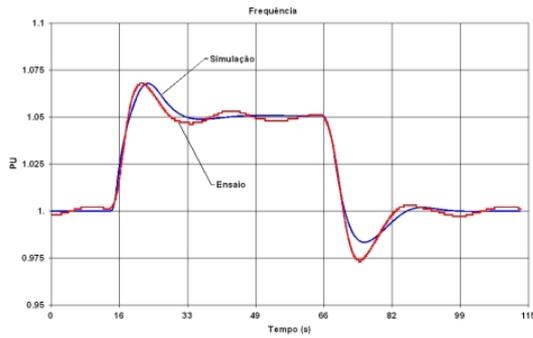


Figura 7 – Frequência – Ajuste ONS

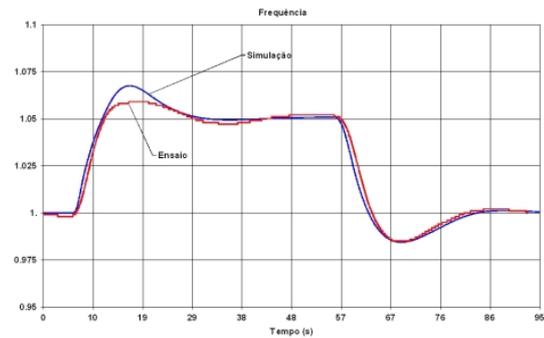


Figura 8 – Frequência – Ajuste ALSTOM

4.2 Degrau em carga

Para avaliar o desempenho dos ajustes no sistema interligado, foram aplicados degraus na referência do regulador de velocidade estando a unidade com os três ajustes, os encontrados em campo, os propostos pelo ONS e pela ALSTOM. A potência do gerador estando entorno de 265MW.

O desempenho dinâmico com os ajustes do ONS pode ser verificado na Figura 9. Nessa figura se observa que a potência tem uma resposta adequada e bem mais rápida que com o ajuste anteriormente implantado em campo, Figura 11. Também, os ajustes recomendados pela ALSTOM apresentaram uma dinâmica rápida, Figura 10. Portanto, os ajustes do ONS foram mantidos para a unidade interligada ao SIN e os ajustes da ALSTOM para a unidade isolada do sistema. Por recomendação da ALSTOM estes ensaios devem ser repetidos para a queda mínima e para a queda máxima, confirmando assim os ajustes recomendados. A Figura 12 mostra a comparação dos três ensaios realizados pode-se observar que os ajustes implementados pelo ONS tem uma resposta mais rápida que os demais.

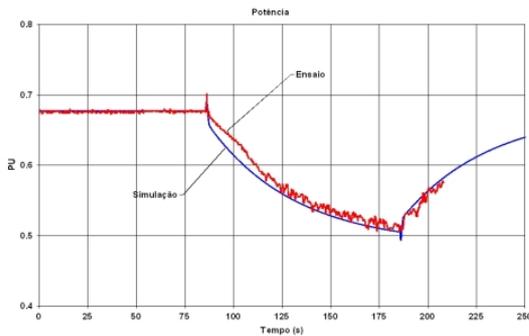


Figura 9 – Potência Elétrica – Ajuste ONS

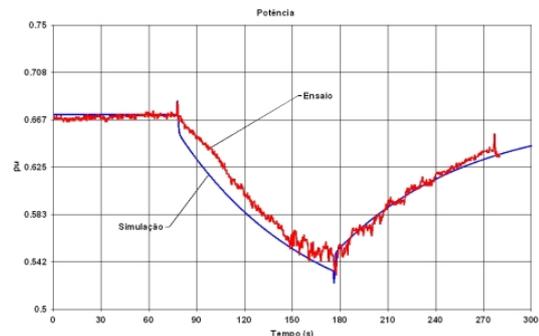


Figura 10 – Potência Elétrica – Ajustes ALSTOM

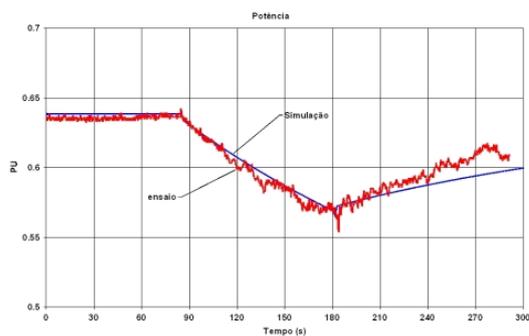


Figura 11 – Potência Elétrica – Ajuste Antigo

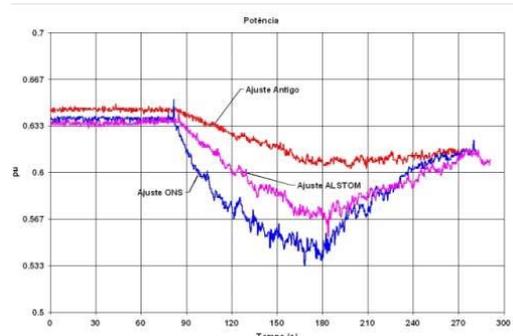


Figura 12 – Potência Elétrica – Comparação

5.0 - AVALIAÇÃO DA OTIMIZAÇÃO NA OCORRÊNCIA

Para avaliar os ajustes implementados durante a ocorrência do dia 20/12/2005 às 12H40Min envolvendo a área do estado do Pará foram realizadas simulações sem a atuação do ECE que cortou quatro unidades quando da abertura do sistema [2].

A Figura 13 apresenta a potência ativa das unidades geradoras da UHE Tucuruí, verifica-se que as unidades geradoras da primeira etapa motorizaram e a potência da segunda etapa voltou ao nível antes da ocorrência, o que levou o sistema isolado a uma elevada sobre frequência, Figura 14.

Com o modelo novo e os ajustes otimizados implementados em campo, a potência elétrica reduziu em toda a usina, levando assim a um desempenho mais adequado para o sistema, com o nível de frequência mais baixo. Com os resultados apresentados pode-se concluir que os ajustes otimizados para o regulador de velocidade possibilitam uma operação mais segura para o SIN, quando do isolamento da área Norte.

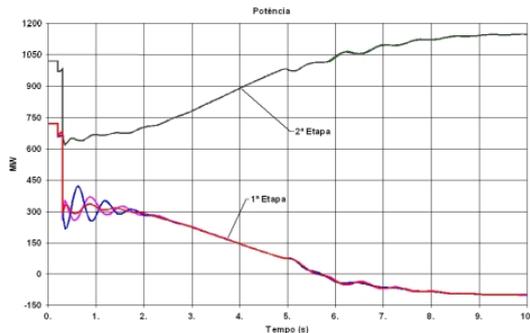


Figura 13 – Potência Ativa – sem Otimização

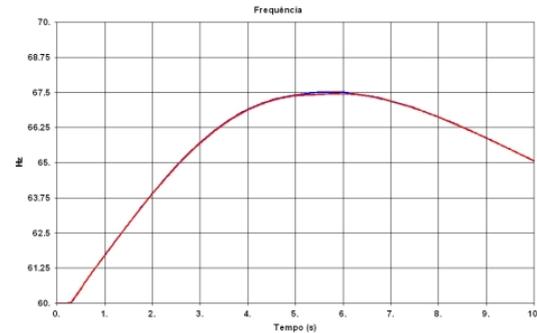


Figura 14 – Frequência – Sem Otimização

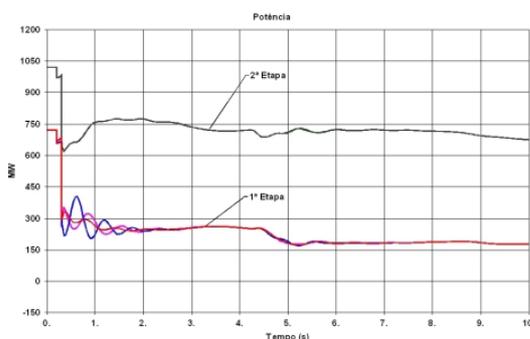


Figura 15 – Potência Ativa – Com Otimização

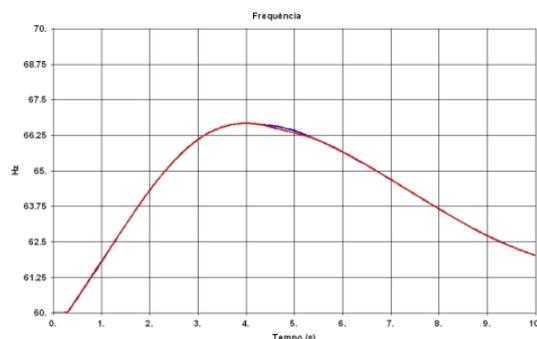


Figura 16 – Frequência – Com Otimização

6.0 - CONCLUSÃO

Os ajustes implementados em campo para o regulador de velocidade demonstraram um desempenho dinâmico rápido, trazendo um grande benefício para as unidades geradoras e para o SIN durante as ocorrências que levam ao ilhamento da área Norte do SIN.

Os ensaios de campo foram de grande valia para a obtenção de um modelo mais adequado para as simulações, que serviram de base para a validação do modelo.

Os ajustes implementados para a operação da unidade em vazio demonstraram estar adequado para este modo de operação, sem que os mesmos tragam problemas de estabilidade ao gerador.

O modelo obtido neste relatório deve ser utilizado como referência para outras usinas que tenham a ALSTOM com fabricante. Este modelo deve ser disponibilizado na base de dados para os estudos de transitórios eletromecânicos.

7.0 - REFERÊNCIAS

[1] – Relatório RE 03/019/2006 – Análise da Perturbação do Dia 20/12/2005 às 12H40Min envolvendo a área do estado do Pará.

[2] – Relatório RE 03/043/2006 – Avaliação da Regulação de Velocidade da UHE Tucuruí na Ocorrência do Dia 20/12/2005 às 12H40Min.

[3] – Relatório RE 03/047/2006 – Avaliação da lógica liga e desliga do PSS da UHE Tucuruí na ocorrência do dia 20/12/2005 às 12H40Min

[4] – ATA de reunião - Programação dos ensaios para os reguladores de velocidade da UHE Tucuruí 2ª etapa – do dia 26/08/2006

8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Jânio José de Lana

Nascido em Itabira de Mantena – MG em 19 de Junho de 1960

Graduação (2003) em Licenciatura Plena em Física: UFPa – Universidade Federal do Pará

Especialização em Engenharia Elétrica (2006) com ênfase em Sistemas de Controle e Automação: UFPa

Empresa: ELETRONORTE – Centrais Elétricas do Norte do Brasil

Técnico Industrial

Venilton Rodrigues de Oliveira

Nascido no Rio de Janeiro, em 18 de Outubro de 1968.

Graduação (1992) em Engenharia Elétrica: UFF – Universidade Federal Fluminense – Niterói – RJ

Mestrado em andamento na UFF - Universidade Federal Fluminense – Niterói – RJ

Empresa: ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, desde 2000.

Engenheiro do Sistema de Potência Sênior do ONS.

Carlos Aviz

Nascido em São Paulo, em 6 de setembro de 1951.

Graduação (1975) em Engenharia Elétrica: UERJ – Universidade Estadual do Rio de Janeiro – RJ

Pós Graduado pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá em 1984 –MG

Empresa: Centrais Elétrica do Norte do Brasil

Engenheiro de Operação e Manutenção – COGH – Gerencia de Engenharia de Operação e Manutenção da Geração Hidráulica,

Paulo Renato Galveias Lopes

Nascido em São Paulo-SP

Graduação (1998) em Engenharia Elétrica UNESP: Universidade Estadual Paulista

Mestre em Ciências (2001) pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica, curso de Engenharia Eletrônica e Computação.

Empresa: Alstom Hidro

Engenheiro Especialista em Regulação de Velocidade