

# Pesquisa para Aumento da Capacidade de Linha em Reserva Florestal e Desenvolvimento de Monitoramento para o Cabo

Marcelo T. Souza, Romeu A. Haik, José A. Jardini, Rosemary B. Jardinetti, Mário Masuda, Gerson Y. Saiki e Paula S. D. Kayano

**Resumo** – A necessidade do aumento da capacidade de carregamento das linhas de transmissão da forma tradicional com a substituição ou reforço nas estruturas e fundações em faixas que cruzam em áreas consideradas de preservação ambiental permanente exigem obras adicionais que alteram o meio ambiente e desta forma com os rigores da atual legislação ambiental torna inviável tal substituição ou alterações. Uma das formas encontradas é a utilização de novas tecnologias em cabos. Este trabalho de P&D teve a finalidade de pesquisar as necessidades do recondutoramento da linha de transmissão com minimização/eliminação dos danos ao meio ambiente. Por se tratar de nova tecnologia em cabos e considerando o desconhecimento de seu desempenho efetivo em condições reais surgiu a necessidade da verificação do comportamento dos condutores através do monitoramento. Também dentro deste projeto foi desenvolvida uma metodologia para instalação do cabo em reserva florestal de forma a minimizar os impactos ao meio ambiente.

**Palavras-chave** – Cabos, fatores ambientais, instalação de cabo, linha de transmissão, monitoramento.

## I. INTRODUÇÃO

O projeto previa inicialmente elaborar as pesquisas e os desenvolvimentos em uma linha de transmissão em 138 kV localizada na reserva florestal da serra do Mar. Porém, em função da não implantação desse empreendimento no período desse projeto, houve a necessidade de mudar a linha para a instalação do protótipo para a etapa de monitoramento do cabo. Assim a linha escolhida, cujo cabo de nova tecnologia já havia sido instalado, foi a linha de transmissão (LT) de 138 kV Jupuí-Três Irmãos. A instalação desse novo cabo foi no trecho da travessia do rio Paraná, cabo este, semelhante ao que seria instalado na serra do Mar.

A melhoria do sistema de 138 kV nas proximidades da usina de Jupuí conforme pode ser visto na Fig. 1 consistiu na implantação do segundo circuito de LT 138 kV entre as sub-

estações Três Irmãos e Andradina e nas recapitações das linhas LT 138 kV Três Irmãos-Andradina e LT 138kV Jupuí-Três Irmãos (LT- 138 kV TLA/TRI. R. Jup 1 e R.Jup. 2). Na terceira etapa do trabalho, repotencialização da LT 138kV Jupuí-Três Irmãos, têm-se a travessia de cerca de 1200 metros sobre o Rio Paraná ilustrada nas Fig. 2 e 3. De acordo com a resolução 302 e 303 de 20/03/2002 e nos termos do Código Florestal nos artigos 2 e 3, tal trecho é considerado como área de Preservação Permanente.

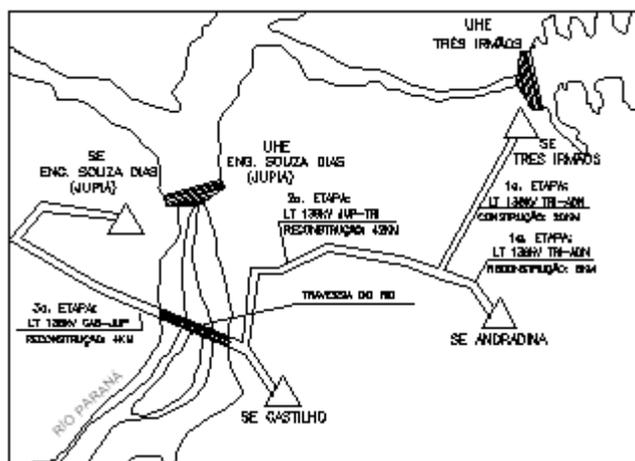


Figura 1. Sistema de 138 kV nas imediações da Usina de Jupuí.

Portanto, devido a problemas ambientais não foi possível a substituição das torres no trecho da travessia. A solução encontrada foi a substituição por um cabo especial que atende as características elétricas e mecânicas do novo cabo condutor utilizado no restante da linha, sem a substituição das torres. Entre as torres de número 26 a 31, que engloba a travessia, foram instalados cerca de 10,164 metros desse cabo especial.

Este projeto encontra-se registrado na ANEEL com o título de “Pesquisa para Aumento da Capacidade de Linha em Reserva Florestal e Desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento para o Cabo” e com o código ANEEL 0068-017/2007. O projeto foi concluído em janeiro/2011 e foi executado pela Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia- FDTE com o suporte financeiro da Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista – CTEEP.

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL e consta dos Anais do VI Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (VI CITENEL), realizado em Fortaleza/CE, no período de 17 a 19 de agosto de 2011.

M. T. Souza e R. A. Haik trabalham na CTEEP, SP, Brasil (e-mails: [mtsouza@ctEEP.com.br](mailto:mtsouza@ctEEP.com.br); [rhaik@ctEEP.com.br](mailto:rhaik@ctEEP.com.br)).

J. A. Jardini; R. B. Jardinetti; M. Masuda; G. Y. Saiki; P. S. D. Kayano trabalham na FDTE, SP, Brasil (e-mails: [jardini@pea.usp.br](mailto:jardini@pea.usp.br), [boet@uol.com.br](mailto:boet@uol.com.br), [mmasuda@fdte.org.br](mailto:mmasuda@fdte.org.br), [gsaiki@fdte.org.br](mailto:gsaiki@fdte.org.br) e [pkayano@fdte.org.br](mailto:pkayano@fdte.org.br)).



Figura 2. Vista da travessia da LT no Rio Paraná.



Figura 3. Detalhe da fundação das torres da travessia.

## II. LT- 138 KV TLA/TRI. R. JUP. 1 E R. JUP. 2

Dessa forma a recapacitação da linha foi prevista com a substituição do cabo existente CAA 336,4 MCM Oriole pelo cabo CAA 636 MCM Grosbeak.

Verifica-se que a utilização desse novo cabo implica em maiores cargas nas estruturas e fundações o que impossibilita a utilização das torres existentes.

Em função dos problemas ambientais tem-se a necessidade de utilizar a mesma estrutura e dessa forma a alternativa seria a utilização de um cabo cuja característica elétrica fosse a do Grosbeak e a mecânica do Oriole.

Em pesquisa realizada verificou-se que o cabo para atender a esses requisitos são cabos especiais cujas características encontram-se no item a seguir.

## III. TIPOS DE CABOS NÃO CONVENCIONAIS

As referências [2], [4], [5] apresentam estudos sobre tipos de cabos de diferentes composições utilizados em linhas de transmissão.

Atualmente novas tecnologias em cabo condutor estão sendo desenvolvidas possibilitando o recondução de LT's sem a necessidade de substituição das torres existentes, entre essas novas tecnologias podemos citar:

### A. Cabo condutor de Alma de aço INVAR

O desenvolvimento da liga de Alumínio Termorresistente (TAL) possibilita a utilização do condutor em regime contínuo de trabalho em temperaturas de até 150°C, sem que haja deterioração das características mecânicas como tração, alongamento e dureza, [3].

O Alumínio Termorresistente com suas características proporciona um aumento na capacidade de transmissão de energia elétrica, permitindo uma corrente no condutor até 50% maior em relação aos condutores de Al 1350 de mesma bitola, possibilitando uma série de alternativas positivas em projetos de linhas de transmissão e distribuição.

### B. Cabo condutor ACCR (Condutor de Alumínio Reforçado por Compósito Metálico)

O condutor 3M ACCR ilustrado na Fig.4 tem os aspectos construtivos similares aos cabos ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced), pois possui múltiplos fios na alma e nas coroas de alumínio-zircônio encordoado com passos em hélice sobre a alma que também é disposta em hélice, porém, com passos mais longos que nos condutores convencionais. Tanto o diâmetro do fio individual quanto o diâmetro externo total têm dimensões similares aos condutores ACSR, [1].

Os fios individuais da alma são formados por um compósito de fibras contínuas de óxido de alumínio embebidas em puro alumínio, os fios da alma têm baixo peso e alta resistência à ruptura podendo operar em altas temperaturas proporcionando maior ampacidade do que os cabos convencionais, já que tanto os fios de alumínio-zircônio quanto à alma contribuem para a condutividade e reforço mecânico.

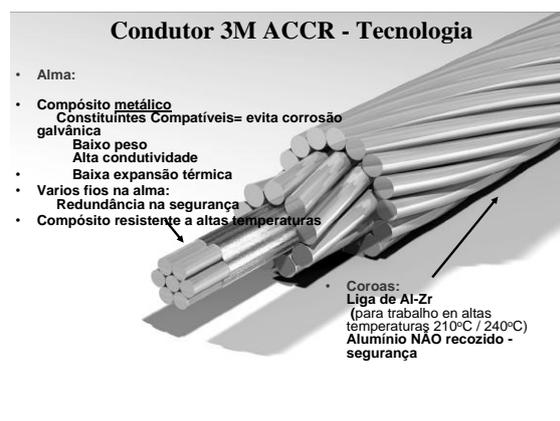


Figura 4. Condutor 3M ACCR.

### C. Cabo condutor com alma de fibra carbono (CTC Composite Technology Corp)

O cabo condutor com alma fibra carbono, denominado ACCC, possui o mesmo princípio de fabricação do condutor 3M, porém o seu núcleo é de fibra carbono e o seu encordoamento é trapezoidal. Essa configuração trapezoidal resulta para o cabo ACCC, com mesmo diâmetro externo de um cabo ACSR, uma maior seção de alumínio, conforme pode ser visto na Fig. 5.

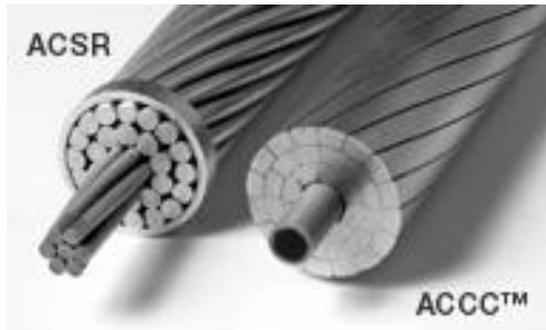


Figura 5. Cabo condutor com alma de fibra de carbono (ACCC) comparado com o cabo ACSR.

#### D. Premissas adotadas

Na adequação do novo cabo foram consideradas as seguintes premissas:

- O novo condutor deve possuir capacidade de transporte de carga igual ao do cabo CAA 636MCM Grosbeak;
- Manutenção das distâncias mínimas ao solo ou via navegável;
- O novo cabo não deverá introduzir esforços adicionais nas estruturas existentes.

Devido ao reduzido número de vãos na travessia não foi considerado preocupante a perda ôhmica no trecho, para as premissas acima mencionadas pode-se verificar que:

- Não é possível instalar cabo de mesma característica que o existente, pois uma bitola maior para aumentar a capacidade de transporte implica em maior esforço na estrutura.
- O cabo deverá ter uma seção aproximada a do cabo existente, isto implica que a temperatura de trabalho deverá ser muito maior para comportar uma maior corrente e, portanto um coeficiente de dilatação linear menor para manter a flecha igual a do condutor existente.

Perdas no sistema: Caso seja utilizado um cabo com resistência igual a do Oriole cujo valor é de  $0,2591\Omega/\text{km}$  a  $150^\circ\text{C}$ , em relação ao cabo Grosbeak ( $0,1193\Omega/\text{km}$  a  $75^\circ\text{C}$ ) tem-se uma perda de 2,17 maior.

### IV. CONDIÇÕES DE INSTALAÇÃO

#### A. Dados dos sistemas (LT 138kV TLA /TRI 2-R. Jup. 1 e R. Jup. 2).

No sistema existente toda a linha foi projetada para o cabo CAA 336,4 MCM Oriole com os seguintes parâmetros:

- Tração do condutor na condição EDS: 20%.
- Temperatura máxima de projeto da linha:  $50^\circ\text{C}$
- Distância mínima ao solo: 8,0 m
- Vãos de travessia e tipo de torres: conforme Tabela I
- Vão Equivalente: 366 m

Os dados de vãos e desníveis encontram-se na Tabela I.

Tabela I. Dados dos vãos e torres da travessia

Nº. Torre	26	27	28	29	30	31
Tipo	T	S Alfa	SR+3	SR+3	SR+3	T
Vão (m)		296,01	370,49	412,76	416,87	191,27
Desnível (m)		7,06	-0,43	-0,04	0,28	-8,28

#### B. Sistema Novo - Travessia do Rio Paraná (LT 138kV TLA /TRI 2-R. Jup. 1 e R. Jup. 2)

Toda a linha foi recapitada com o cabo CAA 636 MCM Grosbeak cujas características encontram-se na Tabela II, exceto no trecho da travessia do rio que foi utilizado o cabo especial.

Tabela II - Características do cabo Grosbeak

Características	Valor
Diâmetro (mm)	25,15
Peso (kg/m)	1,302
Carga de ruptura (kgf)	11429
Resistência (CC $20^\circ\text{C}$ ) ( $\Omega/\text{km}$ )	0,0896
Coef. Dilatação linear ( $1^\circ\text{C}$ )	0,0000189

#### C. Estudo da Capacidade de Corrente

A partir das condições abaixo, foram determinadas as capacidades de corrente para o novo cabo (CAA636 MCM Grosbeak), [8].

- Temperatura ambiente:  $34^\circ\text{C}$
- Velocidade de vento: 1,2 m/s
- Ângulo de incidência do vento:  $90^\circ$
- Fator de emissividade: 0,7
- Fator de absorção: 0,5
- Radiação solar:  $1000\text{ W/m}^2$ .

Os resultados obtidos foram:

- Máxima ampacidade em operação normal: 860 A
- Máxima ampacidade em operação de emergência: 1010 A

Observa-se que o cabo especial deverá ter a capacidade de corrente de 860 A em condição normal e também a capacidade de 1010 A na condição de emergência.

Para atender as condições mecânicas, ou seja, utilização das estruturas existentes sem execução de reforços deverá ser utilizado no máximo um cabo com a mesma característica, isto é, mesmo peso, diâmetro e mesma seção de alumínio. Como a seção permanece com os mesmos valores, a temperatura de trabalho do cabo considerando as condições acima mencionadas deverá ter os seguintes valores:

- Temperatura do cabo na condição normal (linha com 860 A):  $136^\circ\text{C}$
- Temperatura do cabo na condição emergência (linha com 1010 A):  $180^\circ\text{C}$

#### D. Estudos Mecânicos

Para a manutenção das distâncias mínimas ao solo da linha existentes (iguais condições de flechas), considerando que o cabo deverá operar com uma temperatura muito mais elevada, o novo cabo deverá possuir um coeficiente de dilatação linear compatível com a nova temperatura de operação.

O cabo existente (Oriole) encontra-se instalado com as seguintes condições de flecha:

- Vão equivalente: 366m
- Vão de estudo: 416m
- Tração horizontal condição de partida ( $t_1$ ): 1.415 kgf
- Temperatura cabo na condição de partida ( $\theta_1$ ): 27°C
- Tração horizontal temperatura máxima ( $t_2$ ): 1272 kgf
- Temperatura máxima do cabo ( $\theta_2$ ): 60°C.
- Tração na condição de vento máximo: 2776 kgf..

Flecha máxima: 14,90m.

#### E. Parâmetros para o novo cabo

Como regra geral, o novo cabo deverá possuir a mesma flecha do condutor existente nas respectivas temperaturas máximas. Dessa forma deverá ser utilizada a equação de mudança de estado para essa verificação ou definição dos parâmetros do novo cabo.

Considerando, como exemplo, que o novo cabo seja idêntico ao cabo existente (Oriole) este cabo deverá atender seguintes condições utilizando a equação de mudança de estado:

- Para a condição normal, partir de  $t_1 = 1415\text{kgf}$  e  $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$  deverá atingir a temperatura para a condição normal  $50^\circ\text{C}$  com a tração  $t_2 = 1261\text{kgf}$ ;
- Para a condição de emergência, partir de  $t_1 = 1415\text{kgf}$  e  $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$  deverá atingir a temperatura para a condição normal  $60^\circ\text{C}$  com a tração  $t_2 = 1218\text{kgf}$ ;

Cabo novo utilizando a equação de mudança de estado:

- Determinação do valor de  $\alpha$  para a condição normal, à partir de  $t_1 = 1415\text{kgf}$  e  $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$  que deverá atingir a temperatura para a condição normal  $136^\circ\text{C}$  com a tração  $t_2 = 1261\text{kgf}$ ; resultando em  $\alpha = 0,00000462\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ .
- Determinação do valor de  $\alpha$  para a condição de emergência, partir de  $t_1 = 1415\text{kgf}$  e  $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$  que deverá atingir a temperatura para a condição normal  $180^\circ\text{C}$  com a tração  $t_2 = 1218\text{kgf}$ ; resultando em  $\alpha = 0,00000446\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ .

O cabo deverá ter um coeficiente de dilatação  $\alpha$  no mínimo igual ao menor dos valores obtidos.

#### F. Travessia do Rio Paraná

Para a travessia do Rio Paraná foram adotadas as seguintes condições de contorno para definição do cabo:

- Foi considerado os dados de vento conforme a NBR-5422, dessa forma os valores de vento são maiores que o original, implicando que o novo cabo deveria ter um menor diâmetro.
- Capacidade de corrente: condição normal igual a 816 A, em emergência 1010 A;
- Flecha máxima do cabo para o vão de 416m: 14,4m
- Máxima tração do cabo: 2776kgf.

A partir das condições de contorno acima estabelecidas o fabricante definiu o condutor ACCR-Ostrich, existente no mercado, com as características que são apresentadas na Tabela III.

Tabela III - Características do cabo condutor ACCR-Ostrich da (3M) para travessia do Rio Paraná

Propriedades do condutor	Oriole ACSR	Ostrisch ACCR
Seção (mm <sup>2</sup> )	170	150,8
Diâmetro (mm)	18,82	17,2
Peso (kg/m)	0,784	0,501
Carga de Ruptura (kgf)	7.847	5.488
Resistência (ohm/km)	0,165	0,1832
Max Temp. de Operação Contínua (°C)	50	210
Ampacidade em Operação Contínua (A)	331	1.043
Máxima Temp. Operação em Emergência (°C)	60	240
Ampacidade em Emergência (A)	453	1.113
Tração Horizontal na Instalação (kgf)	1.415	1.351
Tração de Instalação (%RBS)	18,2	24,7
Tração Horizontal Máxima (kgf)	2.776	2.776
Tração Máxima (%RBS)	35,7	51,0
Flecha Máxima (m)	14,9	14,4

Da tabela acima se pode constatar que:

- Todas as características do cabo proposto são inferiores ao cabo existente, exceto a resistência que é superior em função da menor seção;
- A temperatura máxima de operação do novo condutor é de  $240^\circ\text{C}$ , isto limita a instalação de alguns acessórios na linha;
- Para a tração de instalação foi prevista a utilização da mesma do cabo existente, ocasionando uma flecha ligeiramente menor em função do menor peso do cabo proposto.

Deve-se ressaltar que o projeto da travessia é muito antigo, assim o seu projeto foi concebido segundo normas que não se encontram em vigor, considerando a norma vigente (NBR-5422), no caso da travessia do rio Paraná pelo fato de ser uma área sem obstáculo é considerada como terreno de rugosidade tipo A, ou seja, pela norma vigente resultaria em uma maior pressão de vento.

Ressalta-se também que a aquisição e instalação do cabo não foi objeto desse projeto de P&D sendo, portanto, custeado pela CTEEP.

## V. DESCRIÇÃO DA INSTALAÇÃO

No período de 04 a 09 de fevereiro de 2009 foram substituídos os cabos condutores no trecho da travessia do Rio Paraná, as características das torres encontram-se na Tabela IV.

Tabela IV - Características das torres

Numeração Antiga	1 Freio	5	6	7	8	9 Puller
Numeração Futura	26	27	28	29	30	31
Tipo de torre	T	S Alfa	SR+3	SR+3	SR+3	T
Cadeia	A	A	S	S	S	A
Vão horizontal		298,0	369,8	413,4	416,9	191,9
Desnível		7,06	-0,43	-0,04	0,28	-8,28
Vão Regulador		298,8	371,4	414	418,2	192,2

Os cabos foram instalados utilizando de lançamento sob tensão que utiliza em uma das praças de lançamento o tensionador e em outra o freio. O cabo foi lançado com uma tração de 400 kgf. O cabo foi instalado com uma tração no valor de 1172kgf ligeiramente abaixo da prevista no estudo.

## VI. MONITORAMENTO

Por se tratar de um cabo especial e com desempenho desconhecido e também por operar com altas temperaturas julgou-se necessário o monitoramento para obtenção dos dados para uma avaliação técnica do comportamento das variáveis do cabo condutor, [6], [7]. Após estudo optou-se pelo monitoramento da tração e da flecha.

Para medição da flecha do condutor foi instalada uma trena a laser na torre de transmissão 28 e para tração do condutor na torre de transmissão 27 foi instalada uma célula de carga.

O meio de comunicação sem fio foi escolhido devido à distância de até 1300 m que separa o local de concentração de dados, a subestação, do ponto sensor mais distante.

### A. Monitoramento da tração no condutor – Célula de carga.

Com o intuito de se medir a tração no cabo condutor foi adquirido um conjunto composto por uma célula de carga (capaz de medir até 10 toneladas) e por um conversor de sinal que converte o sinal de saída célula de carga, entre 0 e 3 mV, em sinal de corrente de 4 a 20 mA. O valor deste sinal é coletado e transmitido de forma a possibilitar o cálculo da flecha do cabo condutor. A Fig. 6 ilustra a célula de carga e o conversor de sinal.



Figura 6. Célula de Carga e Conversor de Sinal.

Este dispositivo foi instalado na cadeia de ancoragem na fase inferior da torre 27. Para tal foi necessária a adaptação da referida cadeia com a retirada de 3 isoladores. A Figura 7 ilustra o conjunto utilizado para a adaptação da célula de carga na cadeia de isoladores da torre 27.



Figura 7. Conjunto de fixação da célula de carga.

Na Fig.8 é ilustrada a arquitetura de coleta de dados para torre 27.

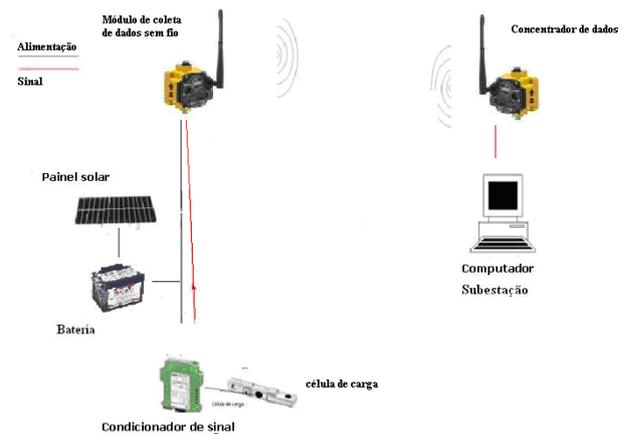


Figura 8. Arquitetura de coleta de dados para torre 27.

### B. Monitoramento da flecha - Trena Laser

O monitoramento da flecha foi efetuado utilizando uma trena a laser, Fig. 9. Como se trata de uma travessia de rio não é possível instalar o dispositivo no meio do vão e medir diretamente à distância ao solo. Assim para que o sistema independa de sua colocação no meio do vão, foi desenvolvido um sistema de medição com o medidor instalado no pé de uma das torres do vão.



Figura 9. Trena Laser.

A Figura 10 apresenta o sistema de fixação da trena laser na torre 28.

Para o funcionamento desse sistema foi instalado na fase

inferior a 15m da torre 28 um refletor que foi desenvolvido especialmente para medir a distância ao cabo.



Figura 10. Trena Laser Instalada

Foram também desenvolvidas as equações correlacionando os valores medidos com o valor da flecha no vão.



Figura 11. Refletor instalado na fase inferior

A Figura 11 ilustra a posição do refletor no condutor da fase inferior do circuito.

A Figura 12 apresenta a arquitetura do sistema protótipo para coleta de dados da torre 28.



Figura 12. Arquitetura de coleta de dados para torre 28

### C. Coleta e concentração das leituras

As leituras de corrente elétrica das saídas dos sensores serão coletadas por um módulo capaz de empacotar os dados e enviá-los via rede sem fio a cada quinze minutos. As leituras dos dois sensores, transmitidas via rede sem fio serão concentradas num outro módulo denominado gateway, localizado na subestação, este módulo disponibilizará os dados através de uma saída serial RS-485 conforme pode ser visto na Fig. 13.

Com as leituras concentradas no gateway, DX80, é necessário transmiti-las até o computador responsável por armazenar os dados e possibilitar a visualização e análise dos mesmos.

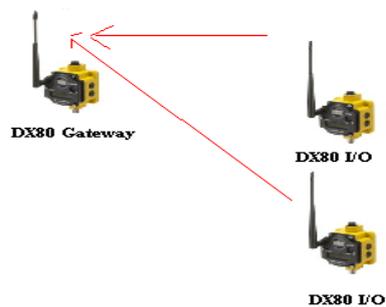


Figura 13. Equipamentos sem fio de coleta de dados.

### D. Módulos de conversão de dados: Transmissão das leituras até o computador

Para conexão ao computador foi necessária mais uma conversão de dados do padrão serial para o padrão USB (Universal Serial Bus), nesta conversão foi utilizado o módulo 7561, como ilustrado nas Fig. 14 e 15.

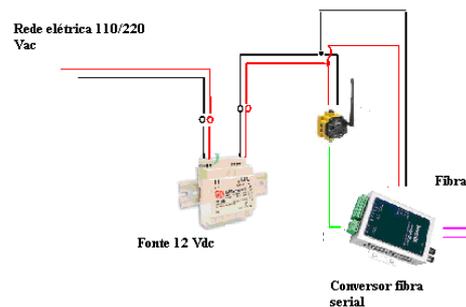


Figura 14. Equipamentos de conversão de dados da SE, lado do gateway.

A figura 16 ilustra a instalação da antena de recepção na torre de iluminação no pátio da SE (lado esquerdo) e também o sistema de recepção dos dados dentro da sala de comando.

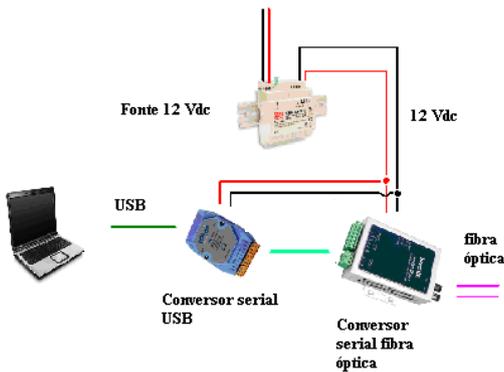


Figura. 15. Equipamentos de conversão de dados na sala de comando.

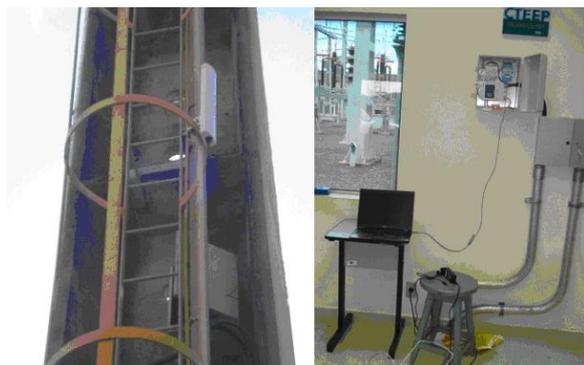


Figura. 16. Antena de recepção na torre de iluminação (esquerda) e sistema de coleta na sala de comando (direita).

### E. Sistema de Consulta

Um sistema computacional residente num microcomputador PC se encarrega de apresentar as medidas de flecha e tração do condutor.

O software desenvolvido obtém os dados coletados dos sensores por meio de uma interface padrão OPC (OLE for Process Control) e armazena os dados numa base de dados histórica SQL.

OPC é uma especificação de uma interface para permitir a integração de dados e é usado para comunicação de dispositivos, controladores e / ou aplicações com protocolos proprietários.

As 10 últimas leituras armazenadas são apresentadas, juntamente com a hora e data de realização das mesmas. Além disso, o software apresenta informação sobre a qualidade de comunicação entre os nós sensores e o gateway concentrador de dados (Figura 17).

Com a intenção de facilitar o acesso às informações armazenadas nesta base de dados, o software que permite a visualização das flechas calculadas para um período histórico definido pelo usuário (Figura 18).

Sensor	Cabeça de carga	Data	Valor de Engenharia (kg)	Tração (N)	Bateria(V)	Comunicação	Distância do ponto mais baixo da catenária (m)	Distância em relação à base (m)	Temperatura do cabo
MonitoraOPC	MonitoraOPC	12/5/2010 14:40:15	1066,399	10220	12,20	ATIVO	8,948	12,950	26,324
MonitoraOPC	MonitoraOPC	12/5/2010 13:47:15	1066,399	10220	12,20	ATIVO	8,934	12,948	26,484
MonitoraOPC	MonitoraOPC	12/5/2010 13:32:15	1066,399	10220	12,20	ATIVO	8,936	12,944	27,224
MonitoraOPC	MonitoraOPC	12/5/2010 13:17:15	1066,471	10220	12,20	ATIVO	8,939	12,942	19,762
MonitoraOPC	MonitoraOPC	12/5/2010 13:02:15	1066,438	10220	12,20	ATIVO	8,935	12,985	35,32
MonitoraOPC	MonitoraOPC	12/5/2010 12:47:15	1066,394	10220	12,20	ATIVO	8,932	12,928	37,587
MonitoraOPC	MonitoraOPC	12/5/2010 12:32:15	1066,376	10220	12,20	ATIVO	8,943	12,967	28,794
MonitoraOPC	MonitoraOPC	12/5/2010 12:17:15	1067,300	10220	12,20	ATIVO	8,926	12,974	26,220
MonitoraOPC	MonitoraOPC	12/5/2010 12:02:15	1066,627	10220	12,20	ATIVO	8,937	12,943	37,128
MonitoraOPC	MonitoraOPC	12/5/2010 11:44:15	1066,295	10220	12,20	ATIVO	8,937	12,963	34,562

Figura. 17. Tela com as últimas 10 leituras.



Figura. 18. Menu para apresentação dos dados históricos

## VII. RESULTADOS DO SISTEMA DE MONITORAMENTO

O sistema do protótipo encontra-se atualmente em operação sem problemas no sistema de transmissão de dados.

Houve um período em que o sistema de transmissão de dados foi interrompido em função do crescimento de árvores na visada entre as antenas da torre 27 e do poste de iluminação da SE. Esta irregularidade foi corrigida elevando a antena na torre 27.

Ocorreram também períodos em que o software de sistema ficou inoperante, isto em virtude de não ser previsto inicialmente o reinício automático do sistema quando o computador é religado. Esta irregularidade também foi corrigida.

Na figura 17 encontram-se alguns resultados do monitoramento obtido na célula de carga.

Verifica-se que os resultados apresentam-se estáveis com a tração no cabo entre 1000 e 1100kgf e que os picos existentes correspondem às medições com vento no condutor. Verifica-se também que o valor da tração encontra-se dentro do valor esperado, abaixo do valor da instalação, em virtude da instalação ter sido executada há dois anos.

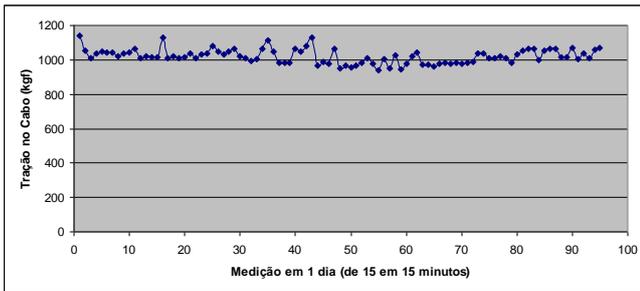


Figura. 19. Exemplo de resultado da célula de carga.

### VIII. METODOLOGIA PARA INSTALAÇÃO DO CABO EM RESERVA FLORESTAL

Conforme já explicado anteriormente, projeto previa inicialmente elaborar as pesquisas e os desenvolvimentos em uma linha de transmissão em 138 kV localizada na reserva florestal da serra do Mar, dessa forma, fez parte do projeto a elaboração de uma metodologia para instalação do cabo na reserva florestal da serra do mar de forma a minimizar o impacto ambiental na região quando do recondutoramento da linha 138kV Embu Guaçu-Perufé ou reconstrução.

Foram também apresentadas alternativas para construção de um novo circuito na mesma faixa de passagem da linha existente.

As soluções para a instalação do novo cabo dependem da premissa a ser adotada quanto à utilização das estruturas existente, ou seja, utilizar condutores especiais e manter as estruturas existentes sem nenhuma alteração ou construir um novo circuito com o cabo convencional. Resultado de estudo preliminar dessas alternativas indicou que o recondutoramento com o cabo especial ACCR, em função do preço do cabo, é muito mais oneroso que a reconstrução de um novo circuito ou mesmo um circuito em uma nova rota. Assim no escopo desse projeto foi considerado apenas o aspecto ambiental.

No método convencional verifica-se que nos locais destinados às praças de montagem há a necessidade de uma via de acesso e também uma limpeza da área no seu entorno.

Assim a metodologia desenvolvida para minimização do impacto ambiental foi focada nos locais a serem definidos para as praças de montagem e também no acesso a elas.

Foi considerada como premissa básica a inexistência de acesso com veículo em todas as estruturas da linha.

Alguns aspectos foram levados em consideração:

- A substituição do cabo pode ser efetuada com a linha energizada ou desenergizada;
- Para estruturas sem nenhum acesso poderá ser utilizado outros meios de transporte, tais como helicópteros, etc;

Para substituição do cabo em linha viva é necessário o acesso a todas as torres, visto que, neste caso necessita-se de outros equipamentos além daqueles necessários no convencional e também devido à morosidade do processo.

Foram propostas as metodologias tanto para a linha desenergizada como para a linha energizada (linha viva).

Para minimizar o impacto no meio ambiente quando da instalação do novo cabo foram consideradas as seguintes

premissas:

- Inexistência de acessos existentes para todas as torres;
- Possibilidade de implantação de praças de lançamentos em algumas torres;

Foram apresentadas as metodologias conforme abaixo:

- Método de Recondutoramento com a fase lançada desenergizada
- Método de Recondutoramento com a fase lançada energizada
- Metodologia alternativa para instalação em linha viva

Das metodologias apresentadas no trabalho concluiu-se que:

- A instalação dos novos cabos, com a linha desenergizada, pelo processo convencional pode-se minimizar os danos causados ao meio ambiente desde que as praças de lançamento do cabo sejam criteriosamente escolhidas, que a distâncias entre as praças sejam mais longas possíveis e que sejam utilizados outros meios para transportar os materiais, equipamentos e pessoal para evitar abertura de acesso na mata além dos existentes.
- A instalação dos novos cabos, com a linha desenergizada, com o método das roldanas auxiliares causa menos impacto no meio ambiente que a instalação pelo processo convencional, porém, o tempo de instalação e também o custo são muito maiores.
- A instalação dos novos cabos, com a linha viva, utilizando o método da fase a ser lançada desenergizada, apresenta um maior impacto ao meio ambiente que o lançamento convencional, pois, necessita do lançamento/construção de uma fase adicional. Além disto, devido às fases estarem dispostas na configuração vertical o risco de desligamentos e também de vida aos trabalhadores é muito maior, visto que, o controle da tração durante o lançamento não é suficientemente fino para o lançamento entre as fases. Ressalta-se também que face ao tempo de instalação cabo existente e das emendas deste existe a possibilidade de uma ruptura durante o lançamento e para esse tipo de evento não se tem nenhum controle.
- A instalação dos novos cabos, com a linha viva, utilizando o método da fase a ser lançada energizada (sistema com os equipamentos isolados) apresenta o mesmo ou maior (equipamentos desalinhados) impacto ao meio ambiente que o lançamento convencional. Apresenta também devido às fases estarem dispostas na configuração vertical o risco de desligamentos e também de vida aos trabalhadores muito maior, visto que, o controle da tração durante o lançamento não é suficientemente fino para o lançamento entre as fases.
- O método alternativo por substituição sugerido

para lançamento em linha viva pode ser comparado ao lançamento pelo método convencional, teria a vantagem por apresentar um menor risco de desligamento e de acidente aos trabalhadores, sobre os métodos de linha-viva acima mencionados, porém, é muito mais moroso e também vários dispositivos precisam ser desenvolvidos e testados. Assim a sua utilização não é imediata.

Face os aspectos acima mencionados sobre as metodologias de lançamento do cabo tanto em linha desenergizada como em linha viva e também aos aspectos que envolvem riscos de desligamento da linha, aos trabalhadores e também considerando a falta de controle no caso de ocorrência de ruptura do cabo ou emenda no meio do trecho em lançamento, recomendou-se que o lançamento seja feito em linha desenergizada de maneira convencional ou pelo método das roldanas auxiliares, com uso de helicópteros para apoio evitando assim abertura de novos acessos e também utilizando distância entre praças de montagem maiores possíveis e finalmente escolhendo adequadamente estas praças onde já existem acessos.

#### IX. CONCLUSÃO

A partir dos dados coletados no monitoramento da tração e da flecha no cabo foi possível a avaliação do comportamento do cabo da qual se pode concluir que:

- O sistema para monitoramento do cabo com a célula de carga apresenta um bom desempenho com boa confiabilidade.
- O sistema de monitoramento com a trena laser da forma que foi instalada também apresenta um bom resultado, porém, o refletor instalado no cabo necessita de aperfeiçoamento, visto que, o mesmo sofre grande influência do vento.
- O sistema de comunicação implantado teve um bom desempenho, visto que, não ocorreu nenhuma interrupção na transmissão de dados para o software desenvolvido para o sistema.
- O software desenvolvido para o sistema de monitoramento apresentou resultados conforme esperado.

De uma forma geral face aos resultados obtidos o sistema implantado atingiu de forma satisfatória aos objetivos do projeto.

Face das condições operativas da linha não foi possível verificar o comportamento do cabo quando operando a altas temperaturas.

O protótipo atualmente encontra-se em uso parcial uma vez que houve um desalinhamento no refletor, portanto, a sua fixação necessita de aprimoramentos.

O cabo ACCR-Ostrich por ser um cabo comercial, portanto, não foi desenvolvido no âmbito desse P&D apresentou um bom comportamento até o momento.

O monitoramento com o sistema a laser em terra é muito mais simples, porém, não foi desenvolvido no âmbito deste projeto.

Em relação a metodologia de instalação foram elaboradas considerações sobre alternativas para a minimização dos impactos ambientais, não sendo escopo do projeto a avaliação técnico-econômica dessas alternativas.

#### X. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. A. Douglass, "Economic measure of bare overhead conductor characteristics", *IEEE Transactions Power Delivery*, vol. 3, nº 2, April 1988.
- [2] V. T. Morgan, "Effect of elevated temperature operation on the tensile strength of overhead conductor" *IEEE Transactions Power Delivery*, vol. 11, nº 11, January 1996
- [3] C. A. M. do Nascimento, E. B. Giudice, M. A. Mourão, J. M. C. Brito, J. M. Assunção, B. Q. A. Fonseca, V. O. Albuquerque, H. L. Ferreira, A. Q. Bracarense, S. Ueda. "Aumento da capacidade de transmissão de linhas aéreas utilizando cabo CAA de liga de alumínio termorresistente (TAL)". *XV SNPTEE*, Foz Iguaçu, 1999.
- [4] Oak Ridge National Laboratory "Composite conductor field trial summary report: ORNL ACCR 795kcmil" Oak Ridge, Tennessee, USA.
- [5] Aluminum Conductor Composite Reinforced Technical Notebook (477 kcmil family) Conductor & Accessory Testing, March 2003, 3M Center, Bldg. 60-1N-01 St Paul, MN, 2003.
- [6] Using monitoring to increase overhead lines rating. PTI (catálogo)
- [7] T. O. Seppa "Increasing transmission line capability by real time monitoring", *Power Engineering Society Winter Meeting*, p.p 1208-1211, v.2, 2002
- [8] ABNT NBR-5422:1985 Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica, 1985.