



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

GLT - 07
16 a 21 Outubro de 2005
Curitiba - Paraná

**GRUPO III
GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO - GLT**

UTILIZAÇÃO DE CABOS DE ALUMÍNIO LIGA 6201 EM LINHAS DE TRANSMISSÃO 230 kV – CASOS PRÁTICOS

Airton Eustáquio B. Junior	André Luiz G. da Silva *	Gustavo M. Lauria	Monalisa L. B. Lourençoni
HOT LINE	NEXANS BRASIL	NEXANS BRASIL	GTESA/PATESA

RESUMO

O presente trabalho tem como finalidade apresentar os resultados amplamente positivos e atraentes nos aspectos técnico-econômicos da instalação do cabo de alumínio liga 6201 nas LT's 230 kV Goianinha – Mussuré II e Paraíso – Açú II.

Será apresentada a otimização da LT Goianinha Mussuré II conseguida com a modificação do condutor CAA originalmente projetado, culminando na LT Paraíso Açú II que já previa em seu projeto a utilização do condutor de alumínio liga 6201.

Serão abordados os aspectos motivadores, dados comparativos dos cabos, resultados dos testes de tipo do condutor, estruturas e, principalmente os aspectos econômicos envolvidos na utilização deste tipo de cabo.

PALAVRAS-CHAVE

Linha de Transmissão, Liga de Alumínio 6201, Redução de custos em Linha de Transmissão, Goianinha-Mussuré, Paraíso-Açú.

1.0 - INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo abordar todos os aspectos que devem ser considerados para otimização de um projeto de linha de transmissão através da troca do tipo do cabo condutor a ser utilizado.

O ponto de partida para o estudo de otimização do projeto da LT Goianinha – Mussuré II foi a iniciativa das empresas Goiana Transmissora de Energia, Hot Line Construções Elétricas Ltda e NEXANS Brasil em iniciar um estudo de viabilidade técnica e econômica entre o condutor originalmente projetado, no caso um cabo de alumínio com alma de aço CAA 636,0 MCM Grosbeak, e o cabo de alumínio liga 6201 747,8 MCM Flint.

Os resultados encontrados, tanto no campo teórico como no campo prático, haja visto que esta linha de transmissão está em operação desde 2003, alertaram outras concessionárias de energia a estudar cuidadosamente cada projeto com o objetivo de escolher um condutor “ideal”, ou seja, um condutor que atenda os requisitos técnicos (elétricos e mecânicos) e, principalmente, devido ao atual cenário econômico do país, que tenha um custo atrativo para ser aplicado na linha de transmissão.

Esta primeira otimização conduzida pela Hot Line e a comprovação técnica e econômica através dos resultados obtidos possibilitou a utilização desta tecnologia de cabos de alumínio liga 6201 na LT Paraíso – Açú II, que foi objeto de licitação no Leilão ANEEL 002/2002.

A única diferença, no caso da LT Paraíso – Açu II é que não houve necessidade de estudo de otimização, ou seja, a Hot Line realizou todos seus projetos prevendo a utilização do Cabo de Alumínio liga 6201, mediante o histórico bem sucedido da LT Goianinha – Mussuré II.

2.0 - CABO DE ALUMÍNIO LIGA 6201

A liga de alumínio 6201 é uma liga de alumínio com adição de magnésio e silício que proporciona uma resistência mecânica praticamente o dobro do alumínio 1350 utilizado em cabos CAA. [1]

A condutividade da liga de alumínio 6201 é de 52,5 % IACS, menor que o valor de 61,0 % IACS do Al 1350. Mas, esta aparente desvantagem é revertida quando se compara o condutor completo. Por não necessitar da alma de aço, devido a resistência mecânica da liga de alumínio 6201, o condutor de alumínio liga pode ser até 25% mais leve que o cabo de alumínio com alma de aço, permitindo utilizar as mesmas flechas deste, mas com baixa tensão mecânica, e portanto com uma fluência menor ao longo dos anos.

Basicamente o cabo de alumínio liga 6201 é um condutor encordoado por fios de alumínio liga 6201, conforme Figura 1.

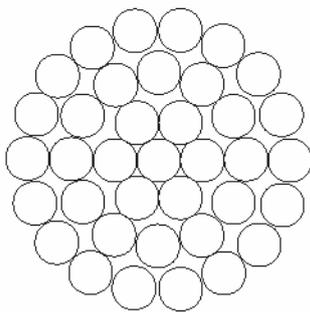


FIGURA 1. Encordoamento do Cabo de Alumínio Liga 6201 (37 fios)

As principais vantagens do cabo de alumínio liga 6201 são:

- Alta relação ruptura peso;
- Possibilidade de utilização de estruturas mais leves e vãos mais longos;
- Boa resistência a corrosão;
- Alta resistência a fluência.

3.0 - LINHA DE TRANSMISSÃO 230 KV GOIANINHA – MUSSURÉ II

3.1 Escopo Inicial

O empreendimento linha de transmissão 230 kV Goianinha – Mussuré II materializa o instrumento da concessão do serviço público de transmissão de energia elétrica, outorgada a Goiana Transmissora de Energia S.A., de acordo com o lote “A” do edital ANEEL número 003/2001. [2]

Os requisitos do edital ANEEL estão na Tabela I.

Todo o projeto, visando a otimização através da troca do cabo condutor baseou-se nas premissas básicas exigidas pela ANEEL, sendo que o ponto de partida foi encontrar um cabo de alumínio liga 6201 que ao substituir o cabo de alumínio com alma de aço atingisse ou até mesmo superasse os requisitos mínimos exigidos.

TABELA I - Requisitos do leilão Aneel 003/2001 – lote “A” – LT Goianinha Mussuré II

Carregamento da Linha de Transmissão	502 A / 628 A
Resistência de Seqüência Positiva (60 Hz, 75°C)	0,112 Ω /km
Níveis de Curto-circuito	40 kA
Condutor	CAA 636 MCM – Grosbeak
Pára-raios	EAR 3/8” e CAA 176,9 MCM – Dotterel

3.2 Comparativo: Cabo Grosbeak x Cabo Flint

Considerando que o condutor originalmente projetado para a LT Goianinha – Mussuré II era o cabo de alumínio com alma de aço 636,0 MCM Grosbeak e com a opção de utilização do cabo de alumínio liga 6201, Nexans, GTESA e Hot Line iniciaram estudos comparativos entre ambos os cabos. O resultado dos estudos foi a escolha do cabo de alumínio liga 6201 747,8 MCM Flint.[3] [4] [5] [6] [7]

A Tabela II apresenta uma comparação entre os dados dos cabos Grosbeak e Flint. Como pode ser observado a relação ruptura peso do cabo Flint é muito alta, resultando na grande diferença da flecha apresentada. No aspecto elétrico, o principal comentário é que a resistência elétrica máxima do cabo Flint é menor que a do cabo Grosbeak. No aspecto construtivo, o diâmetro externo é idêntico.

TABELA II - Comparativo Cabo Grosbeak x Cabo Flint

	Grosbeak	Flint
Diâmetro (mm)	25,16	25,16
Resistência Elétrica Máxima CC a 20°C (Ω/km)	0,0896	0,0892
Carga de Ruptura (kgf)	11.427	11.041
Peso (kg/km)	1.302,8	1.029,9
Relação Ruptura Peso	8,8	10,7
Flecha (vão de 450m)	14,4	11,8

3.3 Parâmetros Elétricos da Linha de Transmissão

Para tornar a modificação do projeto original possível, era imperativo o atendimento satisfatório dos requisitos elétricos do edital ANEEL.

Os valores de resistência, reatância e susceptância de seqüência positiva e zero foram calculados para os projetos original e modificado. Estes valores são apresentados nas tabelas III e IV.

TABELA III - Parâmetros Elétricos – Projeto Original

	Seqüência Positiva	Seqüência Zero
Resistência (Ω/km)	0,0993	0,4561
Reatância (Ω/km)	0,4982	1,6860
Susceptância (Ω/km)	3,322	2,232

TABELA IV - Parâmetros Elétricos – Projeto Modificado

	Seqüência Positiva	Seqüência Zero
Resistência (Ω/km)	0,0961	0,4488
Reatância (Ω/km)	0,5042	1,6875
Susceptância (Ω/km)	3,306	2,178

Como pode ser observado, o valor de resistência de seqüência positiva para o cabo Flint é menor que a do cabo Grosbeak. No aspecto elétrico o cabo Flint tem um comportamento relativamente melhor que o cabo Grosbeak. Quanto a ampacidade dos cabos, não existe diferença, como mostrado na tabela V. A ampacidade de ambos os condutores é idêntica.

TABELA V -Parâmetros Elétricos

	Grosbeak	Flint
Ampacidade [A] ¹	790	790

3.4 Perdas ao longo da Linha de Transmissão

3.4.1 Projeto Original

Para o projeto original (leilão ANEEL) as perdas nos condutores fase foram calculadas através da resistência de referência exigida no edital, que corresponde a resistência elétrica máxima do CAA Grosbeak.

Os seguintes pára-raios foram considerados no cálculo: CAA Dotterel e EAR 3/8". Na tabela VI estão os valores calculados para as perdas ao longo da linha de transmissão para o projeto original.

TABELA VI - Parâmetros Elétricos – Projeto Original

Cabos	L (km)	Perdas (kW/km)
Pára-raios 2 x Dotterel	20	0,0977
Pára-raios 2 x EAR 3/8"	31	0,0906
Fases A,B e C – Grosbeak	51	41,3955

3.4.2 Projeto Modificado

As perdas nos condutores fase foram calculadas com a resistência elétrica do cabo de alumínio liga 6201 Flint, a qual é um pouco menor do que a exigida no edital da Aneel.

Para os pára-raios, a resistência elétrica do cabo de alumínio liga 6201 Butte (aproximadamente 10 km nos extremos da subestação), o EAR 3/8" e o OPGW foram considerados no cálculo.

Na tabela VII estão apresentadas as perdas calculadas ao longo da linha de transmissão par o projeto modificado.

TABELA VII - Parâmetros Elétricos – Projeto Modificado

Cabos	L (km)	Perdas (kW/km)
Pára-raios Butte e OPGW	20	0,1036
Pára-raios EAR 3/8" e OPGW	31	0,097
Fases A, B e C – Flint	51	39,0482

3.4.3 Perdas totais na Linha de Transmissão: Projeto Original x Projeto Modificado

Na tabela VIII as perdas totais ao longo da linha de transmissão, considerando os projetos original e modificado, podem ser observadas.

As perdas foram reduzidas com o uso do cabo de alumínio liga 6201 Flint.

As perdas totais não foram ainda menores no projeto modificado devido ao OPGW, o qual aumentou substancialmente as perdas nos pára-raios.

TABELA VIII - Perdas Totais – Projeto Original x Projeto Modificado

	Projeto Original	Projeto Modificado	Diferença (%)
Perdas Totais (kW)	2.115,9	1.996,5	5,64

¹ Temperatura no condutor → 75°C; temperatura ambiente → 25°C, Velocidade do vento → 1m/s; com sol

3.5 Estruturas

3.5.1 Projeto Original

Para o projeto original estavam previstas estruturas com disposição horizontal, do tipo concreto autoportante (DT's) e aço galvanizado autoportantes: S1's (leve), S2's (reforçadas), A's (ângulo médio) e F's (ângulo grande e terminal).

Na tabela IX podem ser encontrados os tipos de estruturas utilizadas no projeto original.

TABELA IX - Estruturas – Projeto Original

Torre	Aplicação	Vão Médio (m)	Vão de Peso (m)	Cadeias
DT's	Suspensão leve – 0° a 3°	450 m, a 0°	600	III
S1's	Suspensão leve – 0° a 3°	625 m, a 0°	700	III
S2's	Suspensão pesada – 0° a 5°	1.000 m, a 0°	1.000	III
A's	Ancoragem em ângulo – 0° a 25°	950 m, a 25°	900	Ancor.
F's	Ancoragem em ângulo – 0° a 60°	950 m, a 60°	700	Ancor.

3.5.2 Projeto Modificado

Para o projeto modificado, foram utilizadas estruturas em disposição triangular. Estas estruturas foram especialmente desenvolvidas para o projeto, considerando os tipos de materiais a serem aplicados, bem como o atendimento dos requisitos básicos do edital da ANEEL.

A série é composta por estruturas metálicas, em suspensão estaiada (HLES1 e HLES2), em suspensão autoportante (HLS3), ancoragem autoportante (HLA40, HLA60T).

Na tabela X podem ser encontrados os tipos de estruturas utilizados no projeto modificado.

TABELA X - Estruturas – Projeto Modificado

Torre	Aplicação	Vão Médio (m)	Vão de Peso (m)	Cadeias
HLES1	Suspensão leve – 0° a 3°	450 m, a 0°	700	III
HLES2	Suspensão leve – 0° a 5°	625 m, a 0°	900	III
HLS3	Suspensão pesada – 0° a 8°	1.000 m, a 0°	1200	III
HLA40	Ancoragem em ângulo – 0° a 40°	250 m, a 40°	1200	Ancor.
HLA60T	Ancoragem em ângulo – 0° a 66°	100 m, a 66°	1200	Ancor.

Na figura 2 podem ser vistas as estruturas de suspensão estaiada do tipo HLES1 e HLES2.



FIGURA. 2 Estrutura de Suspensão Estaiada HLES1/HLES2

Na Figura 3 pode ser vista a estrutura de suspensão autoportante tipo HLS3. Já, as estruturas autoportante de ancoragem tipo HLA40 e HLA60 podem ser vistas na Figura 4.



FIGURA. 3 Estrutura de Suspensão Autoportante tipo HLS3



FIGURA 4. Estrutura de ancoragem autoportante tipo HLA40 e HLA60

3.5.3 Projeto Original x Projeto Modificado

Utilizando-se vãos diferenciados para o projeto modificado obteve-se uma redução no número de estruturas utilizadas no projeto original da linha de transmissão, conforme demonstrado na tabela XI.

TABELA XI - Estruturas – Projeto Original x Projeto Modificado

Projeto Original	125 estruturas
Projeto Modificado	111 estruturas
Diferença em estruturas	14 estruturas

A redução do número de estruturas foi de 11,2%, um valor bastante considerável ao se avaliar o custo do projeto, que será demonstrado no tópico a seguir.

3.6 Aspectos Econômicos

Com a definição da utilização do cabo de alumínio liga 6201 e a conseqüente definição da mudança das estruturas, em razão do tipo de condutor, houve uma significativa redução nos custos da linha de transmissão. Para esta análise foram considerados apenas os cabos condutores e as estruturas, conforme gráficos 1 e 2.

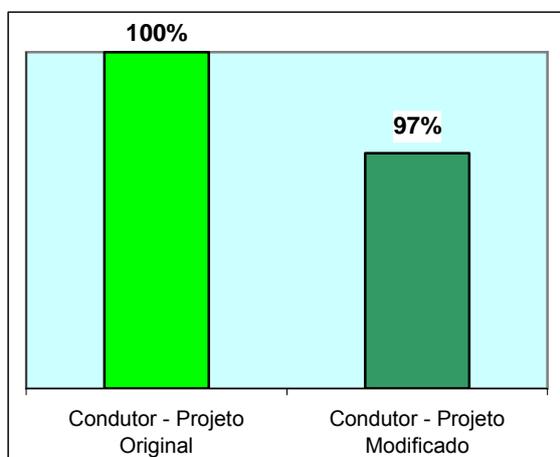


GRÁFICO. 1. Custos – Condutor

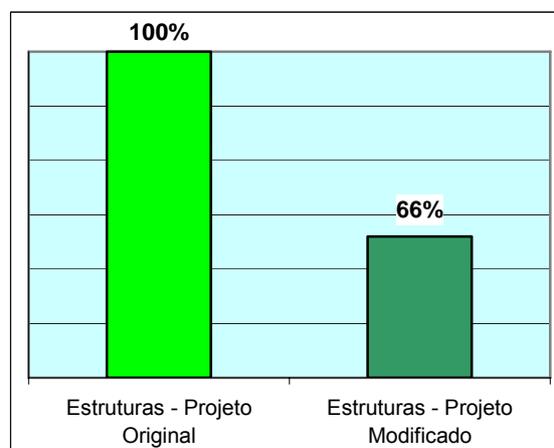


GRÁFICO 2. Custos – Estruturas

No gráfico 3 pode ser verificada a redução total considerando a mudança dos cabos e estruturas.

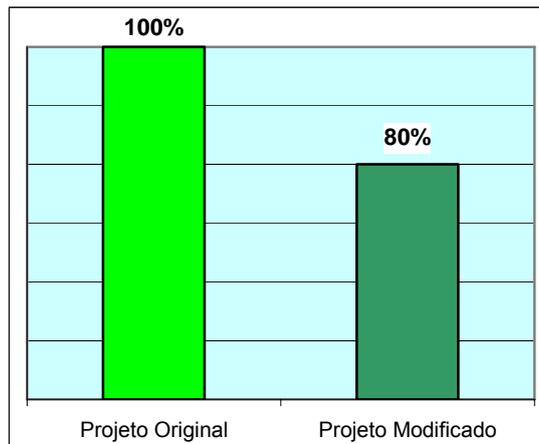


GRÁFICO. 3. Custos Totais – Condutores e Estruturas

4.0 - LINHA DE TRANSMISSÃO 230 KV PARAÍSO – AÇU II

O empreendimento linha de transmissão 230 kV Paraíso – Açú II materializa o instrumento da concessão do serviço público de transmissão de energia elétrica, outorgada a Paraíso Açú Transmissora de Energia S.A., de acordo com o lote “H” do edital ANEEL número 002/2002. [8]

Os requisitos do edital ANEEL estão na Tabela XII.

Para este projeto, devido aos resultados obtidos com a utilização do cabo condutor liga 6201 “Flint” na LT 230 kV Goianinha – Mussurê II, foi considerado desde o início a utilização do cabo liga 6201 para os condutores e pára-raios. Não foi utilizado cabo OPGW neste projeto.[9]

TABELA XII - Requisitos do leilão Aneel 002/2002 – lote “H” – LT Paraíso Açú II

Carregamento da Linha de Transmissão	750 A
Resistência de Seqüência Positiva (60 Hz, 75°C)	0,108 Ω /km
Níveis de Curto-circuito	40 KA
Condutor	CAA 636 MCM – Grosbeak
Pára-raios	EAR 3/8” e CAA 176,9 MCM – Dotterel

A Tabela XIII apresenta os dados construtivos da Linha de Transmissão em questão.

TABELA XIII - Dados – LT Paraíso – Açú II

Comprimento da LT	135 km
Cabo Condutor	740,8 MCM Flint
Cabo Pára-raios	EAR 3/8” e 312,8 MCM Butte
N° de Estruturas	271

As perdas de referência foram calculadas para o trecho com cabos EHS e para o trecho com cabos Butte separadamente, com os resultados apresentados na Tabela XIV:

TABELA XIV – Perdas de Referência

Posição / Cabos		Corrente (A)		Perdas (W/km)		Perdas Totais (W/km)
X	Y	X	Y	X	Y	
EAR 3/8”	EAR 3/8”	6,2	2,9	166,4	36,2	202,6
CAL Butte	CAL Butte	28	5,2	211,4	7,2	218,6

Portanto, as perdas totais de referência, de acordo com os comprimentos definidos no projeto (aproximadamente 7 km em cada extremos da LT, e o EAR 3/8" no restante) são de 27,58 kW.

Os valores de resistência, reatância e susceptância de seqüência positiva e zero foram calculados para o projeto estão apresentados na tabelas XV.

TABELA XV - Parâmetros Elétricos – Projeto Original

	Seqüência Positiva	Seqüência Zero
Resistência (Ω/km)	0,09815	0,4507
Reatância (Ω/km)	0,5042	1,6876
Susceptância (Ω/km)	3,305	2,168

5.0 - CONCLUSÕES

O cabo de alumínio liga 6201 apresentou-se como uma opção bastante atraente, tanto do ponto de vista técnico como econômico.

Os aspectos elétricos e mecânicos do cabo de alumínio liga 6201 em comparação ao cabo de alumínio com alma de aço são praticamente os mesmos, mas o cabo de alumínio liga 6201 apresenta uma diferença vantajosa que é o menor peso em relação ao cabo de alumínio com alma de aço. E esta vantagem é ainda maior quando se compara a relação ruptura peso deste condutor, a qual influencia diretamente no projeto da linha de transmissão.

Na linha de transmissão Goianinha – Mussuré II, o uso do cabo de alumínio liga 6201 “Flint” resultou em uma redução do número de estruturas da ordem de 11%, sendo que do ponto de vista econômico a redução de custos se apresentou muito atrativa, algo em torno de 20% menor que o projeto original, considerando as estruturas e o cabo.

Portanto, podemos apontar que a iniciativa da empresa Goiana Transmissora de Energia S.A. em otimizar os custos do projeto da Linha de Transmissão Goianinha Mussuré II (C3) usando o cabo de alumínio liga 6201 “Flint” serviu como ponto de partida para novos projetos com esta tecnologia. E isto foi observado na concepção da LT Paraíso – Açu II, que desde seu projeto básico foi idealizada utilizando-se o cabo de alumínio liga 6201, tornando economicamente viável e com custos menores do que com a utilização do cabo de alumínio com alma de aço.

Estas primeiras utilizações em larga escala é o ponto de partida para que outras concessionárias e transmissoras possam ter mais uma alternativa, visando sempre a perfeita sintonia entre a redução de custos e o atendimento dos critérios de projeto.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ALUMINUM ASSOCIATION. Aluminum Electrical Conductor Handbook; 2ª edição, 1982, pp.3-1 a 3-26.
- (2) ANEEL. Edital de Leilão N° 003/2001 – ANEXO 7A – Lote A – Linha de Transmissão Goianinha Mussuré II.
- (3) ASTM. Standard Specification for Concentric-Lay-Stranded Aluminum Alloy 6201 – T81 Conductors – ASTM B-399.
- (4) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Cabo de Alumínio Liga para Linhas Aéreas – NBR 10298. Brasil
- (5) ASTM. Standard Specification for Concentric Lay-Stranded Aluminum Conductors, Coated-Steel Reinforced (ACSR) – ASTM B-232.
- (6) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Cabos de Alumínio com Alma de Aço para Linhas Aéreas – NBR 7270. Brasil.
- (7) GOIANA TRANSMISSORA DE ENERGIA. Especificações Técnicas Cabos Condutores e Pára Raios – CAL para Linhas de Transmissão – ET- 007.
- (8) ANEEL. Edital de Leilão N° 002/2002 – ANEXO 7H – Lote H – Linha de Transmissão Paraíso - Açu II.
- (9) PARAÍSO AÇU TRANSMISSORA DE ENERGIA. Especificações Técnicas Cabos Condutores e Pára Raios – CAL para Linhas de Transmissão – ET- 007.