

OS PRODUTOS BIMETÁLICOS E SEU USO EM LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO RURAL

(Geraldo Roberto de Almeida)

RESUMO

Os fios e cabos ALUMOWELD® possuem as melhores características de tração por unidade linear de peso para uma mesma flecha especificada. Isto decorre da cobertura condutora do fio de aço usado como núcleo ser aquela de menor densidade entre todos os metais condutores que podem servir de matriz de cobertura. Todavia o alumínio é um metal que possui um ponto de fusão em torno de 650 °C, bastante inferior àquele das estruturas de aço-carbono, que é da ordem de 1580°C e além disso uma limite de resistência mecânica cerca de 10 vezes inferior àquele dos aços carbono. Estes extremos impõem limites tecnológicos extremos para a fabricação de um condutor bimetálico de núcleo de aço e revestimento de alumínio.

O desafio tecnológico foi vencido em 1958 e no Brasil estes bimetálicos de alto desempenho eletro – mecânico tem sido fabricado desde 1984. Este trabalho apresenta as principais características e aplicação destes condutores bimetálicos, com ênfase para as redes e linhas de distribuição rural, onde a minimização da quantidade de postes para é fator de suprema importância na otimização dos custos de implantação destes sistemas.

SUMÁRIO

1-INTRODUÇÃO

2-A TECNOLOGIA ALUMOWELD®

3-AS CARACTERÍSTICAS DO ALUMOWELD®

4-AS APLICAÇÕES DO ALUMOWELD®

1. INTRODUÇÃO

Os fios bimetálicos são às vezes chamados de revestidos (“clad”), porém diferem muito dos fios revestidos comuns, tais como os estanhados, zincados, cobreados e aluminizados. Os revestimentos destes tem apenas a finalidade de proteger o fio de aço da corrosão imediata. A diferença básica entre os fios bimetálicos e os revestidos estão na espessura da capa metálica de uns e outros. Nos fios bimetálicos o metal da camada externa não é apenas um elemento protetor do núcleo de aço, porém tem espessura tal que dá ao fio composto propriedades adicionais.

Os bimetálicos clássicos são: O **COPPERWELD®** 30% HS e EHS, o **COPPERWELD®** 40% e o **ALUMOWELD®**. No caso de fios **ALUMOWELD®**, a camada externa de alumínio puro constitui 25% da área da seção transversal do fio. Por causa dessa espessa capa, o fio é, não somente resistente à corrosão como um fio só de alumínio, porém tem também alta condutância, mantendo elevada resistência mecânica, qualidades que o tornam um material ideal para linhas elétricas.

Com 25% de sua área em alumínio, o fio **ALUMOWELD®** corresponde a pouco mais que 20% IACS, o que significa que cada três fios de **ALUMOWELD®** conduzem eletricidade como um fio de alumínio de igual diâmetro, pois o alumínio corresponde a 61% na escala IACS.

2. A TECNOLOGIA ALUMOWELD®

O **ALUMOWELD®** foi desenvolvido em 1958 e começou a ser produzido no Brasil em 1984. A produção é feita pelo caldeamento, a quente de dois fios chatos de alumínio puro, grau EC, sobre o núcleo de aço. Os rolos do fio de aço de extra alta resistência mecânica são unidos de topo a topo e enrolados em suporte até cerca de 2 toneladas de material. O vergalhão de aço é decapado, limpo com escovas de aço, endireitado por máquinas de roletes, aquecido na superfície por meio de indução em alta frequência e assim penetra na retorta. Duas bobinas com fio chato de alumínio puro fornecem o alumínio necessário que é aquecido por passagem de corrente. Aquecidos, os dois fios chatos também penetram na retorta onde há atmosfera controlada para evitar a oxidação e assim os três fios entram entre dois rolos de laminação com sulcos que os caldeiam formando o vergalhão de **ALUMOWELD®**. Este vergalhão sofre corte de rebarba, resfriando ao ar e água com desoxidação da superfície e enrolamento em suportes, de onde sairá na hora da trefilação. Na fábrica americana há ainda um sistema de acumulação de fios, na entrada, que permite operação contínua. Cada linha de produção é comandada por um só operador que tem à mão todos os controles necessários.

A trefilação deste material é um processo que foi desenvolvido trabalhosamente. Enquanto que no **COPPERWELD®** a relação entre as cargas de ruptura do cobre e do aço é de 1 para 3, no **ALUMOWELD®** é de 1 para 10, ou seja, a capa de alumínio tem resistência de 8 kgf/mm² e o aço 80 kgf/mm². As fieiras são especiais, em cada caixa com 3 matrizes, fechadas, onde a pressão do lubrificante impede a formação de rugas no fio. A trefilação aumenta a resistência à ruptura

chegando, no alumínio da capa, a 21 kgf/mm². No fim da operação o produto é cortado nas soldas.

É necessário também, para cada fio que se produz, partir do aço adequado para que, com a trefilação, até o diâmetro final se obtenha a carga de ruptura especificada. Não é possível recozer o **ALUMOWELD®** como se faz com o **COPPERWELD®**. A temperatura de recozimento do aço é superior à temperatura de fusão do alumínio.

O produto acabado, com 25% da área de sua seção transversal em alumínio, tem a camada de espessura mínima de 10% de raio, com média de 13,41 e a condutância de 1/3 daquela de um fio de alumínio de igual diâmetro, porém, com a resistência mecânica de 140 kgf/mm² contra 21 kgf/mm² do alumínio, 28kgf/mm² da liga de alumínio 5005, 34 kgf/mm² da liga de alumínio 6201, 34 kgf/mm² a 50 do cobre duro e 120 do **COPPERWELD®** 30% EHS.

3. AS CARACTERÍSTICAS DO ALUMOWELD®

O **ALUMOWELD®** é o condutor que tem a maior proporção de carga de ruptura/massa (Ver tabela I). Esse fator é que determina a flecha em função do vão. A expressão

$$f = \frac{W}{H} \left(\frac{L^2}{8} \right)$$

TABELA I
 Relação carga de ruptura em kgf sobre a massa unitária em kg/km

CONDUTOR	RELAÇÃO		
	Min	Med	Max
Cobre duro		5,18	
Alumínio duro		7,80	
CAA	8,20		10,22
ACAR		8,72	
CAA extra forte		10,62	
Copperweld 40% HS		11,03	
Aço HS		12,06	
Copperweld 30% HS		12,07	
Alumínio liga 6201		13,72	
Aço alto carbono	17,40		18,19
Aço EHS		17,93	
Alumoweld		20,81	

nos mostra que quanto maior for esse fator, menor será a flecha. Por exemplo, admitamos que seja possível a flecha de 1m a 50°C sem vento. Esse número de 1m é tão bom quanto qualquer outro, queremos apenas comparar. Vamos ver os vãos resultantes. Vamos adotar as condições iniciais estabelecidas pelo CODI, a saber EDS de 20% e 20°C sem vento. Calculando os vãos que dão a flecha

acima, com cada condutor dos mais usados em linha de distribuição, temos:

A tabela II a seguir indica as características dos condutores considerados. A tabela III indica o número de postes necessários por quilometro e a economia ou gastos a mais() com postes e acessórios.

TABELA II
 Características dos condutores usados em eletrificação rural

CONDUTOR AWG ou mm	DIÂMETRO mm	Seção mm ²	Massa Kg/Km	Coefficiente de expansão linear $\times 10^{-6} C^{-1}$	Módulo de Elasticidade kgf/mm ²	Carga de ruptura kgf
Cobre nº 6	4,11	13,30	118,30	16,90	11950	581
Cobre nº 8	3,26	8,37	74,50	16,90	11950	375
CAA "Swallow"	7,14	31,12	107,80	19,10	8000	1042
CAA "Swan"	6,36	24,71	85,60	19,10	8000	843
Alumínio nº 8	3,26	8,37	22,60	23,00	7030	136
Aço 3x2,25	4,85	11,93	96,00	11,50	18500	1670
Alumoweld 3 nº 10	5,58	15,78	104,90	13,00	16200	2056
Alumoweld nº 8	3,26	8,37	55,10	13,00	16500	1147

Um estudo do banco mundial indica que 50% do custo de uma linha está nos postes., cruzetas, isoladores e fixações. 20% nos condutores e 30% em projeto, montagem e administração. É por esse motivo que é necessário usar condutores que requerem o menor número de postes e acessórios. Também a manutenção torna-se mais econômica.

TABELA III
 Vãos e quantidades de postes em eletrificação rural para flecha de 1 m (Linha Média)

CONDUTOR AWG ou mm	VÃO mm	VÃO %	poste por km	Custos dos postes %	Economia ou custo a mais %
Cobre nº 6	72,96	77,00	14	129,00	-29
Cobre nº 8	74,00	78,00	14	128,00	-28
CAA "Swallow"	93,40	99,00	11	101,00	-1
CAA "Swan"	94,45	100,00	11	100,00	0
Alumínio nº 8	54,00	57,00	19	175,00	-75
Aço 3x2,25	179,00	158,00	7	63,00	37
Alumoweld 3 nº 10	156,80	166,00	6	60,00	40
Alumoweld nº 8	162,05	172,00	6	58,00	42

Como se vê na tabela III o **ALUMOWELD®** nº8 permite vãos 66% maiores que o cabo swan e 115% maiores que o cabo de cobre nº 6 AWG. Deixando de lado o fio de alumínio puro, pela grande quantidade de suportes que exige, vamos examinar as retrações e os coeficientes de segurança resultantes a 15°C com vento a 100 km/h e a -5°C sem vento, linhas médias. Vemos aqui que os

coeficientes de seguranças do **ALUMOWELD®** estão entre os maiores (Tabela IV). Vamos agora examinar o aspecto elétrico. Os condutores maiôs usados tem sido o cobre n° 6 e o CAA n° 4 “ (swan) . As ampacidades destes cabos, calculados nas condições padrão usados para as tabelas, a saber”.

Temperatura inicial	25°C
Temperatura final	75°C
Vento	0,601 m/s
Freqüência	60 Hz
Emissividade da superfície	0,5
Aquecimento solar	0

Tem os seguintes valores

Cobre n° 6 AWG	120 A
CAA n° 4 SWAN	140 A

Esses valores são muitos elevados e é um desperdício usar esses condutores em ramais, muito mais desperdício usá-los ainda em linhas trifásicas. Em vista disso a ELETROBRÁS passou a estudar o uso de condutores de aço galvanizado, de alto teor de carbono, nas seguintes bitolas

Fio de 3,09 mm de diâmetro
Cabo de 3 x 2,25 mm de diâmetro

E também os condutores

Alumoweld n° 8 AWG
Alumoweld 3 n° 10 awg

Apesar de serem as primeiras de menor vidas úteis, em virtude da corrosão que agride facilmente os materiais zincados, damos aqui as ampacidades calculadas como acima, com a única diferença que os condutores de aço zincados e os alumoweld são calculados nos manuais à temperatura máxima de 125 °C. Assim, obtendo-se

Fio de 3,09 mm de diâmetro	36 A
Cabo de 3 x 2,25 mm de diâmetro	52 A
Alumoweld n° 8 AWG	56 A
Alumoweld 3 n° 10 awg	90 A (Ver Tabela IV)

TABELA IV

Trações máximas nos condutores em eletrificação rural para flecha de 1m e vãos como na tabela III e coeficientes de seguranças

CONDUTORES AWG ou mm	Carga de ruptura kgf	15°C vento 100km/h		(-) 5°C sem vento	
		Tração	Coeficiente de segurança	Tração	Coeficiente de segurança
Cobre nº 6	581,00	160,00	3,60	165	3,50
Cobre nº 8	375,00	111,00	3,40	106	3,50
CAA "Swallow"	1042,00	314,00	3,30	314	3,30
CAA "Swan"	843,00	263,00	3,20	253	3,30
Aço 3x2,25	1670,00	402,00	4,20	393	4,20
aço 3,09	1073,00	264,00	4,10	255	4,20
Alumoweld 3 nº 10	2056,00	491,00	4,20	490	4,20
Alumoweld nº 8	1147,00	278,00	4,10	272	4,20

Aqui nos vemos mais uma vez a grande superioridade dos condutores **ALUMOWELD®**. Ma não é a ampacidade que governa a escolha dos condutores nas linhas de distribuição rural. As zonas rurais caracterizam pelas grandes distâncias que separam os consumidores um do outro e estes dos pontos de alimentação, bem como pela pequena carga de cada usuário. Em conseqüência, o investimento é alto por quilometro vendido, relativamente aos investimentos urbanos ou industriais. É assim ainda mais importante obter baixos custos de redes para tornar estes sistemas economicamente viáveis.

TABELA V

Condições de cálculo das ampacidades usadas nos manuais

PARAMETRO	VALORES
Temperatura inicial	25°C
Temperatura final	75° C ou 125°C
Vento	0,601 m/s
Frequencia	60 Hz
Emissividade da superfície	0,5
Aquecimento solar	0

TABELA VI
AMPACIDADES

CONDUTORES AWG ou mm	AMPACIDADE A
Cobre nº 6	120
Cobre nº 8	90
CAA "Swallow"	160
CAA "Swan"	140
Aço 3x2,25	51
aço 3,09	36
Alumoweld 3 nº 10	90
Alumoweld nº 8	56

Um estudo feito pela ELETROBRÁS considera como boa base para análise, por representar 80% das situações encontradas, um transformador de 5 kVA por quilometro de linha. Com a diversificação dos usuários, como nem todos tem a sua carga de pico ao mesmo tempo, o fator de carga é também baixo.

TABELA VII
Impedâncias nos condutores a 60 Hz

CONDUTOR AWG ou mm	Resistência CC a 20 °C Ohm/km	Reatância indutiva a 30,48 cm 60 Hz Ohm/km	Impedância Ohm/km	Reatância indutiva a 12m e 60 Hz Ohm/km	Impedância (MRT) Ohm/km
Cobre n° 6	1,300	0,396	1,359	0,673	1,464
Cobre n° 8	2,068	0,414	2,101	0,691	2,173
CAA "Swallow"	1,076	0,380	1,141	0,657	1,261
CAA "Swan"	1,356	0,384	1,409	0,661	1,509
Alumínio n° 8	3,379	0,414	3,404	0,696	3,450
Aço 3x2,25	16,070	1,086	16,100	1,357	16,127
Aço 3,09	25,250	2,900	25,410	3,177	25,449
Alumoweld 3 n° 10	5,415	0,483	5,436	0,760	5,468
Alumoweld n° 8	10,130	0,548	10,145	0,825	10,164

Vamos adotar esse número, isto é, um consumidor com trafo de 5 kVA e um fator de carga de 40%. Sendo grandes as distancias e baixas cargas, o fator limitante passa a ser a queda de tensão. A ELETROBRÁS indica como aceitável o valor de 5%. Vamos recalcular os comprimentos de linhas que, com carga acima, dão 5% de queda de tensão com os condutores que estamos estudando.

4. APLICAÇÕES DO ALUMOWELD®

Observando a tabela VIII vemos que os ramais trifásicos de 13,8 kV (7,98 kV fase terra), com cabo swan ou cobre n° 6, como se tem usado amplamente, podem atingir até mais de 80 km. É uma distancia desnecessária na maioria dos ramais e tem um custo muito elevado por km.. Um ramal de até 17 ou 24 km de extensão pode ser atendido com linha monofásica. Com retorno por terra, com um só condutor a **ALUMOWELD®** ./

Nesses ramais a energia trifásica eventualmente necessária pode ser obtida usando u pequeno aparelho elétrico. Em linhas trifásicas de 138 Kv e cabo alumoweld 3 n° 8 pode atender até 41 km.

TABELA VIII
 Comprimento possível das linhas em cada alternativa (km)

CONDUTOR AWG ou mm	TENSÃO F-T 7,967 kV			TENSÃO F-T 13,279 kV			TENSÃO F-T 19,919 kV		
	FASES			FASES			FASES		
	3	1	R-T	3	1	R-T	3	1	R-T
Cobre nº 6	83	34	46	139	59	77	209	85	116
Cobre nº 8	67	27	38	112	45	63	168	68	95
CAA "Swallow"	91	37	50	152	62	83	228	93	125
CAA "Swan"	82	33	45	137	55	76	205	83	114
Alumínio nº 8	52	21	30	88	35	50	132	53	75
Aço 3x2,25	24	9	14	40	16	23	60	24	35
Aço 3,09	19	7	11	32	13	18	48	19	27
Alumoweld 3 nº 10	41	17	24	69	28	40	104	42	60
Alumoweld nº 8	30	12	17	51	20	29	76	31	44

Em todas essas linhas o bom aterramento é uma parte imprescindível, seja do neutro, das ferragens, das chaves ou dos para raios e é feito por um fio de baixada e uma ou mais hastes de terra. O fio de baixada deve ser resistente à corrosão e não ser interessante ao roubo. O material que é mais adequado para este fim é o fio ou cabo **COPPERWELD®**. Ele não tem valor como sucata e é imune a corrosão. Inclusive no solo onde penetra, para ligação das hastes. A seção dos fios varia com a corrente esperada na descarga a terra. Cada companhia determina sua bitola. Nas linhas de distribuição convencional é comum o uso do **COPPERWELD®** nº 6 AWG 30 % OU 40%. Os fios são ligados às hastes por conectores ou por solda exotérmica que também fornecemos.

As hastes **COPPERWELD** são os elementos de aterramento propriamente ditos. São constituídas por um núcleo de aço cuja função é prover resistência adequada à cravação, e de uma capa de cobre eletrolítico para a proteção do núcleo. A seção das hastes é grande e sua escolha é feita em função do terreno a penetrar. O comprimento total é que mais influencia na resistência de aterramento. Para terrenos uniformes uma haste não necessita ir além de 2,4 m ou 3,0 m. Qualquer penetração além disso trás muito pouca redução na resistência mas, se o terreno tiver menor resistividade nas camadas profundas, usa-se haste prolongável

Quando se quer atingir uma resistividade mínima pode-se usar mais de uma haste, ou hastes profundas, conforme o tipo de terreno. Nas linhas de distribuição é comum querer-se ter resistência de menos de 30 ohms em cada instalação.

Nas linhas com retorno por terra, entretanto, o aterramento é parte do circuito e seu valor é contínuo. A sua resistência de terra deve ser baixa para não reduzir muito o comprimento possível

de ramal com aquele condutor.

