

# CAPACIDADE DE CORRENTE DE FIOS E CABOS EM ALTITUDES ELEVADAS

**Paulo César da Costa<sup>1</sup>, Landulfo Silveira Jr.<sup>2</sup>, Marco Antonio Alves Batista<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>Engenharia Elétrica - FEAU – Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP, Av. Shishima Hifumi, 2911, 12244-000, São José dos Campos – SP

<sup>1</sup>paulo.cesar.costa@embraer.com.br, <sup>2</sup>landulfo@univap.br

<sup>3</sup>Empresa Brasileira de Aeronáutica - EMBRAER, marco.batista@embraer.com.br

**Resumo** - Este artigo apresenta a pesquisa realizada no trabalho de graduação em engenharia elétrica da UNIVAP, cujo intuito foi de apresentar a metodologia para cálculo de capacidade de condução de corrente nos fios e cabos elétricos em aeronaves, considerando a altitude de operação da mesma e o agrupamento dos fios e cabos, e apresentando suas respectivas proteções elétricas para todos sistemas elétricos embarcados em aeronaves, de acordo com a norma militar MIL-W-5088L. Dessa forma padronizar a capacidade de condução de corrente de fios e cabos por bitola e padronizar proteções elétricas (disjuntores e fusível) para os diversos tipos de cargas, que estão sujeitas a sobrecargas.

**Palavras-chave:** Cabos, Fios, Proteção, Corrente.

**Área do Conhecimento:** III - Engenharias

## Introdução

Desde a invenção do avião, há uma grande procura por novas tecnologias no setor de aviação, e essa busca tornou-se mais intensa com a chegada da 2<sup>a</sup> guerra mundial, e hoje em dia não é diferente. Mas com o surgimento das companhias aéreas, os aviões deixaram de ser utilizados apenas para fins militares e passaram a ser utilizadas para transporte de cargas e civis.

As companhias aéreas visam cada vez mais lucros, e para que isso ocorra a empresa precisa de aviões confiáveis, com custo de operação e de manutenção de baixo valor. Dois fatores ajudaram na autonomia e conseqüentemente na melhoria do custo de operação de aeronaves: o peso e a altitude de operação das aeronaves.

Voando em altitudes elevadas, há uma economia de combustível. Isso devido ao fato de quanto mais elevada for a altitude de operação da aeronave, menor a densidade do ar, assim, o avião consegue atingir distâncias maiores, pois o ar sendo menos denso, o avião tem menos arrasto, com isso pode percorrer distâncias maiores com menor quantidade de combustível.

Mas para fazer um avião voar em altitudes mais elevadas, existem vários fatores que dificultam / aumentam seu custo de projeto, como: Estrutura mecânica mais reforçada, e principalmente, componentes eletroeletrônico com características específicas para suportar as altas pressões em função da sua altitude. Fios e cabos obedecem a esse critério, pois quanto maior a altitude de operação, maior a bitola do fio ou cabo, isso devido à troca de calor ser menor, a altas altitudes, conseqüentemente a bitola do fio ou cabo deve ser maior que quando no nível do mar, aumentando assim o peso da aeronave [1-SAE AS50881 / 2000].

Os fios e cabos existentes na aeronave se tornaram componentes críticos e vitais, em razão da crescente dependência das aeronaves dos sistemas eletrônicos sofisticados nelas incorporados. Eles não são utilizados apenas para distribuir energia elétrica, mas também provêem controle e informação entre os diversos sistemas e sub-sistemas, como por exemplo: sinas de controle, barramento de dados (fly-by-wire), etc.

Neste projeto será abordado o tema Cálculo de Corrente Máxima de Fios e Cabos, criando uma tabela que venha a padronizar e facilitar no desenvolvimento de novos projetos, tabela esta que apresente a capacidade máxima de corrente de fios e cabos, e os componentes de proteção do mesmo, como fusível e disjuntor. Esta tabela será projetadas para altitudes de 41000 pés.

## Condições para dimensionamento de fios e cabos.

Uma maior temperatura ambiente implica numa menor dissipação de calor, o que significa que o condutor estará submetido a uma temperatura de operação mais elevada e sua capacidade de condução de corrente será reduzida. Além disso, cabos desenvolvidos para operar sob temperaturas mais elevadas possuem uma capacidade de condução de corrente superior àqueles desenvolvidos para temperaturas máximas de operação inferiores, considerando ambos submetidos às mesmas condições ambientais.

Para saber a capacidade máxima de corrente de um fio ou cabo, é importante conhecer o material do condutor e principalmente o diâmetro desse condutor, isso porque, quanto maior for o diâmetro (bitola) desse condutor maior será a capacidade de condução de corrente do fio ou cabo. A figura 1 apresente valores da capacidade

de corrente de fios e cabos de diferentes bitolas [1-SAE AS50881 / 2000].

A influência da redução da troca de calor também se faz presente quando agrupamos diversos cabos elétricos em um único local, como por exemplo, uma cablagem instalada no interior de uma aeronave. Isso porque algumas características do cabo, entre elas a capacidade de condução de corrente elétrica, são determinadas considerando um único condutor separado, e não agrupado. Neste caso, quando for instalado um número maior de cabos elétricos num mesmo grupo, devem ser aplicados fatores de correção, onde a pior condição refere-se aos casos onde todos os condutores permanecem carregados com 100% de sua capacidade. Nos casos de valores inferiores a 100%, os fatores de correção podem ser aumentados conforme as condições de funcionamento da instalação. Na figura 2 pode se notar a influência do fator de correção devido à porcentagem de cabos carregados [2-MIL-W-22759E / 1990].

Na questão da troca de calor, pode-se observar mais um detalhe com relação à altitude de instalação (diferença de altura do local da instalação em relação ao nível do mar), o calor gerado no condutor elétrico, somado à temperatura ambiente, é trocado com o ar, cujas moléculas se aquecem. Como são as moléculas do ar que recebem o calor, quanto menor o número de moléculas, menor e mais lenta é a troca de calor. Com o aumento da altitude o ar se torna cada vez mais rarefeito, ou seja, com um menor número de moléculas. Portanto, pode-se concluir que quanto maior a altitude, menor é a troca de calor entre o condutor e o ambiente, o que leva a uma redução de sua capacidade de condução de corrente elétrica. Na figura 3 é apresentado o fator de correção devido à elevação da altitude [1-SAE AS50881 / 2000].

### **Proteção de circuitos elétricos**

A proteção dos circuitos elétricos consiste em introduzir (nos mesmos), dispositivos sensores de condições de sobrecarga e curto-circuito, que acionarão automaticamente quando o circuito atingir a situação indesejada em situações de emergência.

Na aviação o uso de proteções elétricas (disjuntores, e fusíveis) são basicamente para proteger fio e cabos (cablagem), pois a proteção da carga é feita por ela mesma, logicamente algumas cargas são protegidas porém no projeto da maioria dos circuitos as proteções já são incluídas nas próprias caixas. Caso contrário aumentaria o peso da aeronave consideravelmente.

### **Fusível**

São dispositivos de proteção de sobrecorrente que possuem elemento interrompível por fusão, quando diretamente aquecido pela passagem de corrente elétrica. Um fusível é um dispositivo térmico e é influenciado pelas variações da temperatura ambiente.

A capacidade de um fusível não pode ser testada. Quando a unidade se abre, cada um dos membros deve ser trocado. O material do fusível tem uma tendência a oxidar-se e sob vibração constante, pode cristalizar-se, acarretando uma diminuição na vida útil do fusível.

Os fusíveis devem obedecer aos requisitos da especificação MIL-F 15160/02. e são encontrados nas capacidades de 1/100 a 30 A, mas em geral, só devem ser usados para aplicações especiais, quando o circuito não tiver capacidade de disparar um disjuntor. Fusíveis com valores inferiores a 1A devem ser evitados por causa da sua fragilidade mecânica. Existem os fusíveis de efeito retardado e os fusíveis de efeito rápido, geralmente é usado os fusíveis de efeito retardado, isso porque o avião tem muita turbulência, e o fusível de efeito rápido é muito sensível, e pode abrir com uma simples turbulência [2-MIL-W-22759E / 1990].

### **Disjuntores**

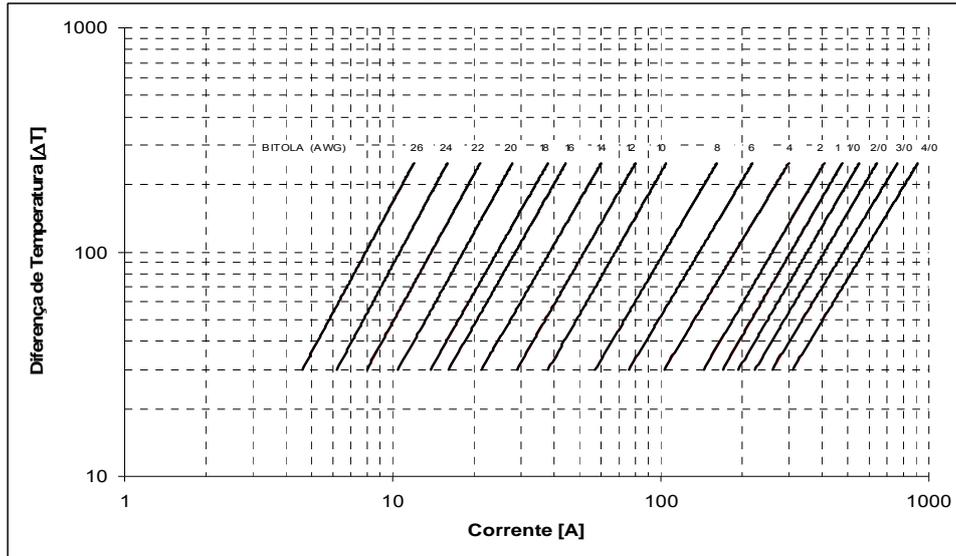
São dispositivos de proteção rearmáveis, que devem atender aos requisitos da aeronáuticos. Somente os disjuntores do tipo “livre desarme” (“trip-free”), não rearmáveis sob condição indesejada (curto circuito e sobrecarga), de rearmamento manual devem ser usados.

Deve-se examinar com cuidado as curvas de disparo dos disjuntores e em especial, os limites máximos e mínimos sob as condições ambientais previstas. De preferência, combinações novas de fonte, disjuntores e cargas, devem ser testados em modelo no laboratório.

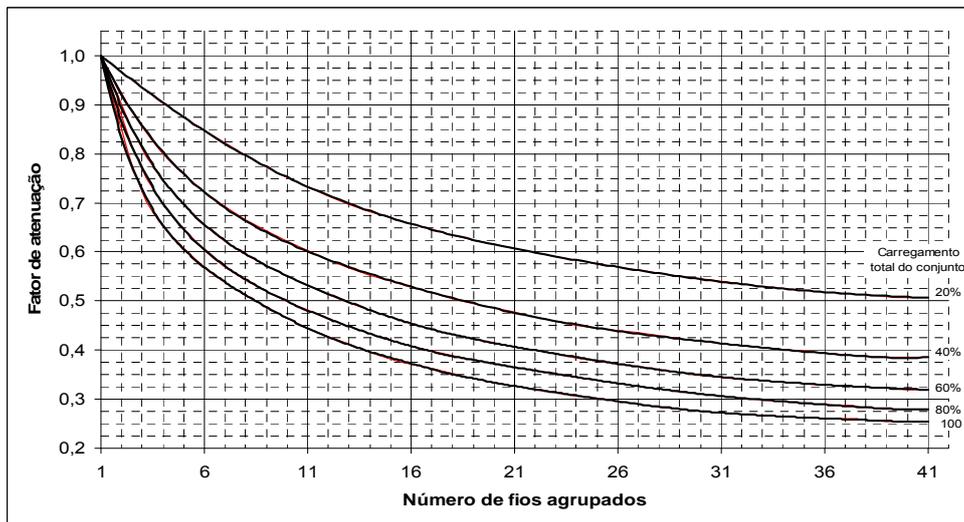
Apesar de existirem vários tipos de disjuntores, como disjuntores térmicos, disjuntores magnéticos, disjuntores de falha no arco (AFCB), disjuntor controlado a distancia, etc. Neste trabalho serão tratados apenas dos disjuntores térmicos, que são os mais usados para proteção de cablagens. Estes dispositivos possuem um elemento sensor de temperatura, que “percebe” quando a temperatura se eleva em demasiado, desarmando o dispositivo. O dispositivo é calibrado de forma que o desarme é realizado após ser ultrapassado um valor de corrente de sobrecarga.

O uso de disjuntores na aeronáutica geralmente são usados para baixa corrente, isso devido ao fato de não existem disjuntores militares com alta corrente [2-MIL-W-22759E / 1990].

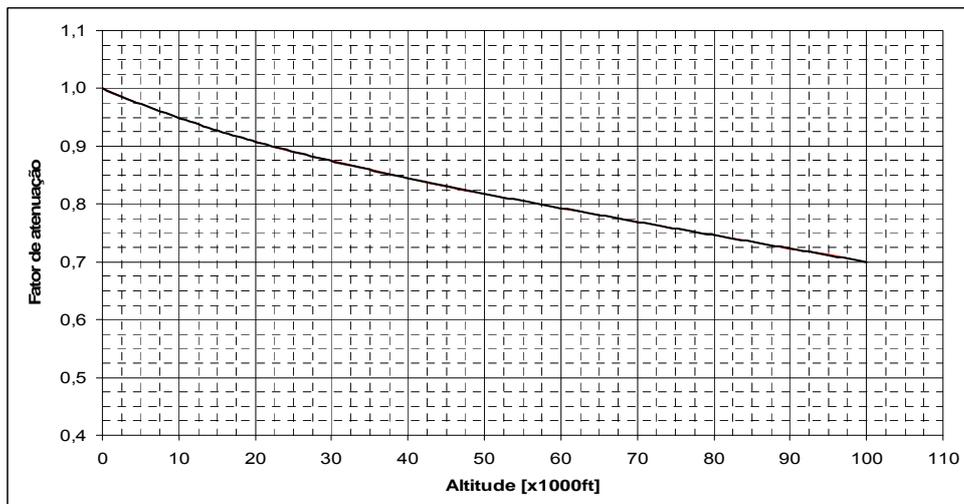
**Gráficos utilizados para a realização dos cálculos**



**Figura 1 – Cabo simples de cobre ao ar livre**



**Figura .2 – Fator de atenuação devido ao agrupamento de cabos**



**Figura 3 – Fator de atenuação devido à altitude do veículo**

### Exemplo

Assumindo uma cablagem com 36 fios, bitola 8 AWG, onde a capacidade máxima de temperatura é 200°C e 6 fios bitola 8 AWG, com capacidade máxima de temperatura de 200°C, e considerando que o ambiente onde estão localizadas essas cablagens estejam com uma temperatura de 70°C, e a aeronave voando a 41,000 pés de altitude. Assumindo que na cablagem de 36 fios, 20% dos fios estejam na capacidade de condução de corrente máxima e na cablagem de 6 fios, 80% dos fios estejam na capacidade de condução de corrente máxima. Pode ser feito o seguinte cálculo:

a- Com o auxílio da Figura 1, determina-se a variação de temperatura ( $\Delta T$ ) do cabo para obter as capacidades de condução de corrente ao ar livre. A partir do momento que o cabo estará em um ambiente de 70°C, e sua temperatura máxima de operação é de 200°C,  $\Delta T=200-70=130^\circ\text{C}$ . Seguindo a linha de 130°C (na ordenada), a capacidade de condução de corrente do fio 8 AWG ao ar livre é de 117A.

b- Com o auxílio Figura 2, a curva de 20% é selecionada para se obter o fator de atenuação da cablagem com 36 fios onde obtém-se o valor de 0,525, e a curva de 80% é selecionada para se obter o fator de atenuação da cablagem com 6 fios e se acha o valor de 0,61.

c- Multiplicando a corrente encontrada na cablagem de 36 fios por 0,52 a capacidade de condução de corrente ao ar livre do cabo de 8AWG, este passará de 117A para 61,4A, e multiplicando a corrente encontrada na cablagem de 6 fios por 0,61, passará de 117A para 33,9A.

d- Com o auxílio da Figura 3, procura-se 41000 pés (na abscissa) desde que essa seja a altitude em que o veículo estará operando. O cabo deve ser atenuado num fator de 0,82 (encontrado na ordenada).

e- Multiplica-se por 0,82 a capacidade de condução de corrente da cablagem com 36 fios, passará de 61,4A para 50,14A, e a cablagem de 6 fios passará de 33,9A para 27,7A.

f- Determina-se então que na cablagem com 36 fios, a capacidade de corrente máxima de um fio é de 50,14 e na cablagem com 6 fios a corrente máxima é de 27,7. O exemplo citado acima, está em evidência na Tabela 1.

A Tabela 1 apresenta os valores de corrente máximas dos fios por bitola e suas proteções.

Na primeira coluna, é apresentada as bitolas dos fios que vão de 24 AWG até 0.0 AWG, a segunda coluna é apresentado os valores da corrente máxima de cada fio considerando que os mesmos estejam a uma temperatura de 70°C e temperatura máxima de operação de 200°C, sem levar em conta a influência da altitude de

operação e o agrupamento. Os valores da terceira coluna mostram a capacidade de corrente máxima de cada bitola considerando a altitude de operação (41.000 pés) e o agrupamento que o mesmo se encontra, no caso da Tabela 1, 36 fios agrupados com carregamento de 20%. Na quarta coluna é considerado o mesmo padrão da terceira coluna, mas considerando o agrupamento de 6 fios com carregamento de 80%. Na quinta e sexta colunas são apresentado valores dos dispositivos de proteção (fusível disjuntor).

Tabela 1 - Avaliação de corrente nos fios.

Bitola do fio	Corrente máxima			Corrente nominal máxima	
	Fio simples s/ar	Fios em canduite ou cablagem		Disjuntor	Fusível
		36 fios	6 fios		
24	10,1	5,23		5	
22	13,1	6,76		5	
20	17,3	8,94		7,5	
18	23,6	12,21		10	
16	27,4	14,17		10	
14	36,7	18,97		15	
12	49,7	25,72		20	
10	64,9	33,57			20
<b>8</b>	<b>96,9</b>	<b>50,14</b>	<b>58,62</b>		30
6	134,8		81,55		50
4	181,1		109,59		80
2	248,5		150,37		100
1	290,7		175,85		130
0	337		203,89		150
0.0	391,8		237,02		225

### Conclusão

Conclui-se, que apesar de toda complexibilidade para se obter os valores da capacidade de corrente de fios e cabos, todos os valores calculados tem uma margem de erro para segurança do avião e principalmente da tribulação e dos passageiros, e todos os cálculos foram realizados de acordo com normas militares utilizadas na industria aeronáutica mundial.

### Referências Bibliográficas

- SAE AS50881 – “Wiring, Aerospace Vehicle”, Revision C, Society of Automotive Engineers, Inc., United States, 2000.
- MIL-W-22759E – “Wire, Electrical, Fluoropolymer - Insulated, Copper or Copper Alloy”, Department of Defense, United States, 1990.
- EATON CORPORATION - Electric Distribution and Control. Whitfield Avenue, Sarasota, 2003.
- Airport and City Code Database for 9000 Airports Worldwide. Disponível em

<<http://www.airportcitycodes.com>>. Acesso em:  
01 julho. 2007.