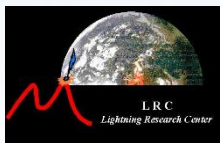


Desempenho de LTs frente às Descargas Atmosféricas: Contribuições Brasileiras ao Grupo Internacional CIGRE WG C4.23

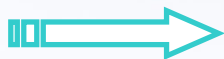
Silverio Visacro **Fernando H. Silveira***

GDS



1. INTRODUÇÃO

DESCARGAS ATMOSFÉRICAS



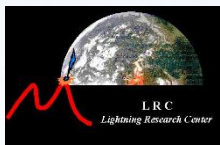
Principal fonte de desligamentos de LTs

Últimos Anos

- Limites aceitáveis de desempenho de LTs mais estritos
- Necessidade de revisão das abordagens para cálculo e melhoria de desempenho

AVANÇOS

- **Conhecimento sobre as descargas**
 - Parâmetros locais de frequência
 - Parâmetros de corrente
- **Representações fisicamente mais consistentes dos componentes de LT**
- **Aplicação de modernas ferramentas computacionais:**
 - evolução na qualidade das estimativas da sobretensão



1. INTRODUÇÃO

2012

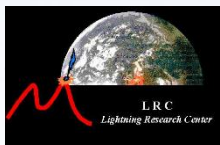
Grupo internacional do CIGRE WG C4.23

- Revisão da brochura 63 – “*Guide to Procedures for Estimating the Lightning Performance of Transmission Lines*” (1991)

Grupo brasileiro do CIGRE GT4-BR01

Desempenho de LTs frente a Descargas Atmosféricas

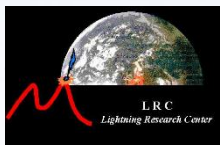
- apresentação de **contribuições brasileiras** ao grupo internacional;
- nova brochura : **abordagens que contemplem** soluções para as condições típicas do ambiente brasileiro
- **atualizar** os representantes brasileiros na **nova cultura técnica** relativa à brochura para sua disseminação no meio técnico brasileiro.



2. OBJETIVO DO TRABALHO

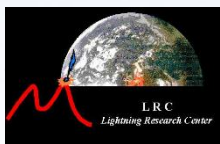
Reportar, de forma concisa, as principais **contribuições brasileiras** ao grupo internacional WG C4.23:

- Representação da forma de onda da corrente de descarga e de seus parâmetros para o cálculo de desempenho;
- Resposta impulsiva e representação dos aterramentos elétricos;
- Aplicação de elaborado modelo computacional para o cálculo das sobretensões nos isoladores, resultantes da incidência na linha



3. PONTOS RELEVANTES SOB ANÁLISE PELO CIGRE WG C4.23 E AS CONTRIBUIÇÕES BRASILEIRAS

1. Parâmetros de descarga
2. Forma de onda da corrente de descarga
3. Abordagens para cálculo da sobretensão nas cadeias de isoladores
4. Representação dos efeitos associados ao comportamento impulsivo do solo no desempenho de LTs
5. Estudo de representações simplificadas do aterramento para o cálculo de desempenho

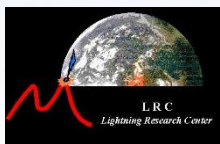


Contribuição brasileira:

- Constituição de uma distribuição específica de picos de corrente: **Morro do Cachimbo**
 - Única base de dados de regiões tropicais

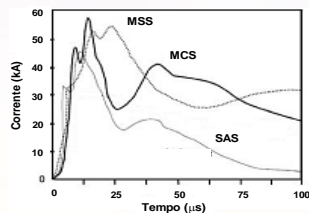
FST: 50, SUB: 71

Estação	Ip (kA)	Td30 (μs)
Monte San Salvatore (17)	31	3,8
Morro do Cachimbo (7)	45	4,3



3.2. Forma de onda da corrente de descarga

- Impacto direto na sobretensão da cadeia de isoladores; desempenho da LT



- Formato côncavo em seus primeiros μs ;
- Crescimento abrupto até o primeiro pico;
- Múltiplos picos



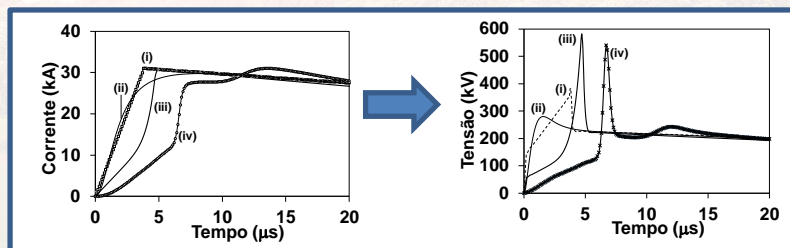
Tradicionalmente:

- Triangular
- Dupla exponencial
- Heidler

Contribuição brasileira:

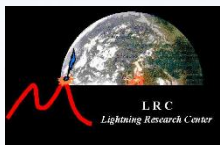
- Recomendação de uso da forma de onda de corrente denominada **duplo pico**:

representa as principais características observadas em ondas individuais de corrente medidas



➡ CÁLCULO DESEMPENHO DE LTs:

- Métodos de ruptura de isolamento que consideram apenas o pico de corrente são mais sensíveis às definições referentes à onda de corrente de descarga.



Contribuição brasileira:

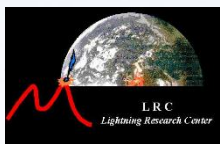
IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 20, NO. 2, APRIL 2005

S. Visacro, *Member, IEEE*, and A. Soares, Jr., *Member, IEEE*

- Único modelo eletromagnético ajustado e sistematicamente aplicado para a análise de desempenho de LTs

Uso no contexto do WG C4.23:

1. Cálculo de sobretensões, como elemento do processo de determinação da taxa de desligamento da LT
2. Realização de análises sistemáticas de sensibilidade, com a constituição de referências para se avaliar a qualidade de modelos simplificados propostos para representação dos componentes da linha e das descargas



3.4. Comportamento impulsivo do solo X desempenho de LTs

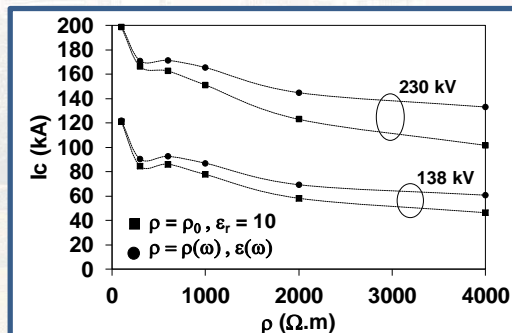
- Comportamento transitório dos aterramentos tem impacto direto na determinação de desempenho de LTs
 - Tipo de representação; consideração relativas aos parâmetros elétricos do solo (ρ e ϵ)

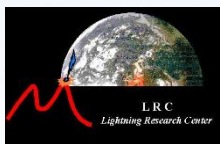
Contribuições brasileiras:

- Efeito da dependência da frequência da resistividade e da permissividade do solo
 - Desenvolvimentos práticos que comprovam a necessidade de se ter em conta tal efeito;
 - Desenvolvimento de expressões de engenharia

Efeito da dependência da frequência dos parâmetros do solo
no desempenho da LT de 138 kV

ρ ($\Omega.m$)	Desligamentos / 100 km/ano		Redução (%)
	ρ constante	$\rho(\omega), \epsilon(\omega)$	
300	2,05	1,73	15,1
1000	2,51	1,91	23,8
2000	4,87	3,22	32,6



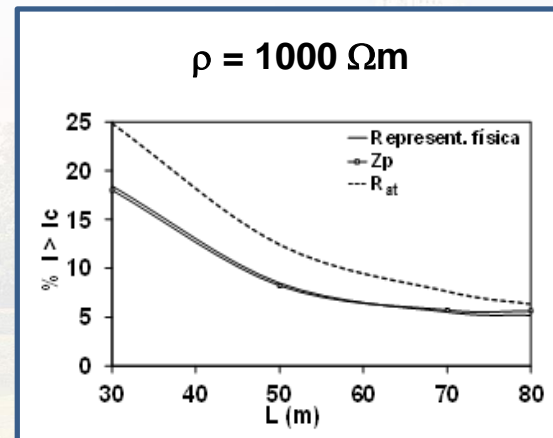


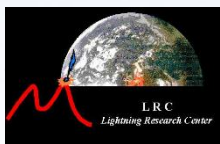
3.5. Representações simplificadas do aterramento para o cálculo de desempenho de LTs

- Impacto direto na sobretensão da cadeia de isoladores; desempenho da LT
- Abordagens analíticas e por parâmetros de circuitos: não são capazes de representar o aterramento elétrico a partir de sua configuração física, geometria e disposição dos eletrodos.
- Uso de **Rat** (Resistência de aterramento medida em baixa frequência)

Contribuição brasileira:

- Recomendação de se utilizar um número real correspondente à **impedância impulsiva (Z_p)**, principalmente para programas baseados em circuitos a parâmetros distribuídos do tipo EMTP/ATP.





3.6. Contribuições brasileiras complementares

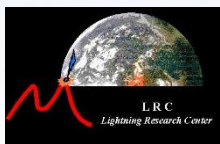
- A possibilidade de consideração das descargas subsequentes nas análises de desempenho de LTs.

(Tradicionalmente: apenas primeiras descargas são consideradas)

- A descarga subsequente pode ter contribuição significativa para desligamentos de LTs de 69 kV e 138 kV.
- Torres de altura superior a 30 m, LTs com bom desempenho frente às primeiras descargas ($Rat \leq 20 \Omega$)

- Práticas de melhoria de desempenho de LTs:

- **Uso de cabos inferiores aterrados**, conectados à estrutura da torre (***underbuilt wires***).
- Em alguns casos: **redução da resistência de aterramento à metade**;
- Alternativa: - **solos de elevada resistividade**;
 - trechos de linha nos quais as **técnicas convencionais** de redução da resistência de aterramento **têm difícil implementação**.



3.6. Contribuições brasileiras complementares

- Abordagem reversa a ser aplicada no projeto de aterramentos elétricos das torres da linha, de modo a garantir desempenho específico da LT em termos da taxa de desligamentos por backflashover

I crítico que leva à ruptura do isolamento da linha;

Probabilidade associada à ocorrência de I crítico



Lmínimo eletrodos de aterramento para garantir determinada taxa de desligamentos para cada condição de ρ

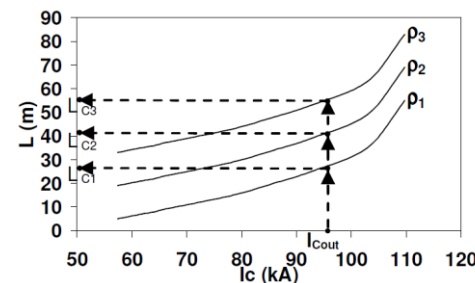
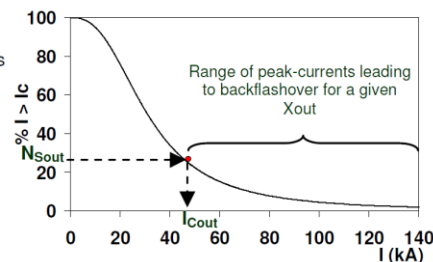
First Procedure

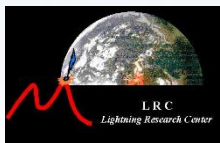
Estimated number of strikes to the line:

$$N_s = N_g \times A_c$$

Maximum percentage of strikes to the line leading to backflashover

$$N_{sout} = (X_{out} / N_s) \cdot 100\%$$



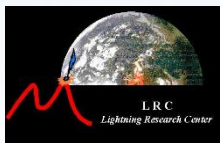


4. COMENTÁRIOS FINAIS

- **Principais contribuições brasileiras** para o grupo internacional **WG C4.23**, constituído para a revisão da brochura técnica 63 do CIGRE

DESTAQUES:

- 1) Representação da **forma de onda de corrente de descarga e de seus parâmetros** para o cálculo de desempenho;
- 2) **Comportamento impulsivo do solo** no desempenho das linhas (dep. com a frequência dos parâmetros solo);
- 3) Aplicação de **elaborado modelo computacional** para o cálculo das sobretensões resultantes nos isoladores de LTs;
- 4) **Representação concisa do aterramento elétrico** para fins de simulação computacional em modelos que utilizam a abordagem por parâmetros de circuito distribuído do tipo EMTP/ATP.



4. COMENTÁRIOS FINAIS

Condições peculiares
do ambiente brasileiro



- **Impacto relevante na taxa de desligamentos de LTs**

- Elevada taxa de incidência de descargas;
- Solos de elevada resistividade

**Condição especial para
a análise de
desempenho de linhas**

IMPORTANTE:

- **Consideração dos aspectos discutidos nesse trabalho;**
- **Uso de modelagens avançadas nas avaliações de desempenho sob tais condições.**

FERNANDO H. SILVEIRA



silveira@ufmg.br

