

**DESEMPENHO DE LINHA DE
ALTA TENSÃO FRENTE A
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS:
ESTUDO DE CASO DE UMA
LINHA DE 69 KV DA ENERGISA
MINAS GERAIS**

GRUPO DE ESTUDO DE
DESEMPENHO DE SISTEMAS
ELÉTRICOS - GDS

Marco Aurélio de Oliveira Schroeder

Rodolfo Antônio Ribeiro de Moura

Afonso César Tavares

Manoel Augusto Monteiro Boya

Marcos Vinícios Carvalho Neto

Márcio Rodrigues de Oliveira





UFSJ
UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SÃO JOÃO DEL-REI



Organização da Apresentação



1.0 – INTRODUÇÃO

2.0 - FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

3.0 - DESCRIÇÃO DA LINHA DE ALTA TENSÃO DA ENERGISA MINAS GERAIS

4.0 - RESULTADOS E ANÁLISES DE SENSIBILIDADE

5.0 - CONCLUSÃO

Estatísticas de desligamento devido a descargas atmosféricas:

- Nacionais \Rightarrow 70% (Cemig).
- Internacionais \Rightarrow 65% (desligamentos) e 60% (distúrbios).

Descargas atmosféricas: principal mecanismo causador de curtos-circuitos fase-terra, sendo:

- 60% \Rightarrow tensões entre 100 e 250 kV.
- 75% \Rightarrow tensões entre 100 e 150 kV.
- 67% \Rightarrow descargas atmosféricas geram um curto fase-terra.



Motivação \Rightarrow pesquisas para modelagem dos elementos envolvidos no processo.

Taxas de desligamento:

- Por backflashover (BFR).
- Por falha de blindagem (SFFR).
- Total = BFR + SFFR (número de desligamentos por 100 km de linha por ano).

Energisa Minas Gerais:

- Problemas associados ao desempenho de suas linhas de alta tensão frente às descargas atmosféricas.
- Projeto de cooperação técnica com GATCI/DEPEL/UFSJ.

Objetivo do artigo:

- Apresentar os resultados decorrentes deste projeto de cooperação.



1. *Flash*/IEEE:

- Amplamente utilizado.
- Característica determinística.
- Consideração de valores medianos de grandezas estocásticas (I_p por exemplo).

2. **ACAE-DLT**:

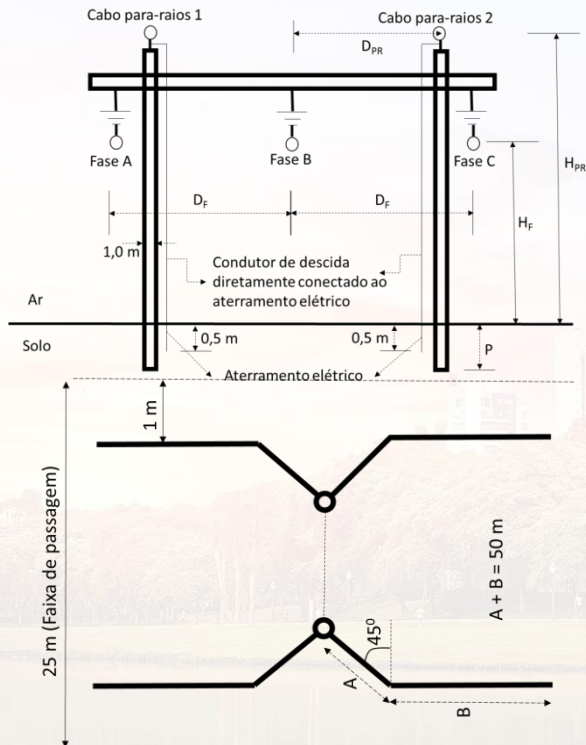
- **A**mbiente **C**omputacional segundo uma **A**bordagem **E**stocástica para cálculo de **D**esempenho de **L**inhas de **T**ransmissão.
- Desenvolvido e implementado pelo GATCI/DEPEL/UFSJ.
- Características \Rightarrow i) interface amigável; ii) transitório eletromagnético - ATP; iii) modelagens consistentes; iv) avaliações paramétricas; v) facilidade de uso em empresas e que não fique somente na universidade; vi) simplificações de ordem prática e vii) postura conservadora.



UFSJ
UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SÃO JOÃO DEL-REI



3.0 - DESCRIÇÃO DA LINHA DE ALTA TENSÃO DA ENERGISA MINAS GERAIS



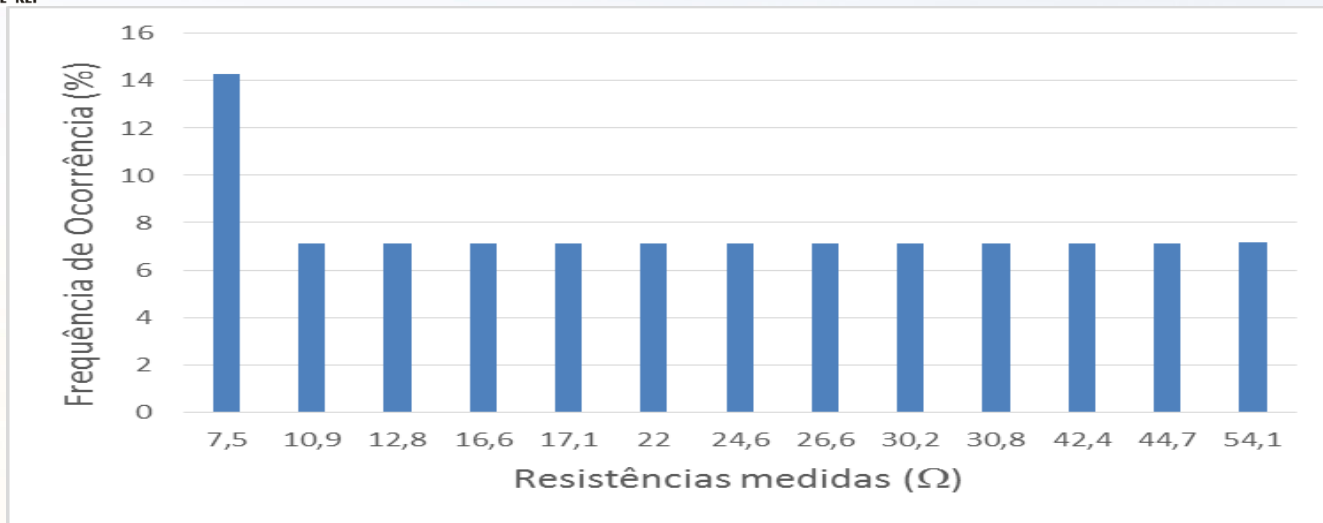
Tensão de Operação	69 kV	Flecha dos condutores fase: f_F	7,0 m
Vão típico	270 m	Distância horizontal entre condutores fase: D_F	4,6 m
Número de condutores/fase	1	Distância horizontal entre condutor fase e cabo para-raios: D_{PR}	3,6 m
Número de cabos para-raios	2	Código do cabo para-raios	5/16"
Código dos condutores fase	Quail - 2/0	Altura do cabo para-raios: H_{PR}	13,80 m
Altura dos condutores fases (A, B e C): H_F	10,43 m	Flecha dos cabos para-raios: f_{PR}	4,0 m
		Profundidade - P	2,20 m



UFSJ
UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SÃO JOÃO DEL-REI



3.0 - DESCRIÇÃO DA LINHA DE ALTA TENSÃO DA ENERGISA MINAS GERAIS



Valores medidos de resistência de pé de torre (Ω)	7,5; 7,5, 10,9; 12,8; 16,6; 17,1; 22; 24,6; 26,6; 30,2; 30,8; 42,4; 44,7 e 54,1
Média (Ω)	24,84
Desvio padrão (Ω)	14,4191



- *Flash* Monte Salvatore \Rightarrow utilização do *Flash* (versão 1.9) com dados do Monte San Salvatore.
- *Flash* Morro do Cachimbo \Rightarrow utilização do *Flash* com dados do Morro do Cachimbo.
- **ACAE-DLT** Monte Salvatore \Rightarrow utilização do **ACAE-DLT** com dados do Monte San Salvatore.
- **ACAE-DLT** Morro do Cachimbo \Rightarrow utilização do **ACAE-DLT** com dados do Morro do Cachimbo.



4.1. Análise Paramétrica I – Sensibilidade em Relação aos Dados de Medição do Monte San Salvatore e aos do Morro do Cachimbo:

	Taxas de Desempenho por 100 km de linha por ano				
	Flash – versão 1.9		ACAE-DLT		Dados Históricos
	Monte San Salvatore	Morro do Cachimbo	Monte San Salvatore	Morro do Cachimbo	
<i>Flashover</i>	3,13	0,67	3,13	0,67	---
<i>Backflashover</i>	30,52	49,63	27,60	37,60	---
Total	33,65	50,30	30,73	38,27	25,33

4.2. Análise Paramétrica II – Sensibilidade em Relação ao Perfil do Terreno:

	Taxas de Desempenho por 100 km de linha por ano			
	ACAE-DLT (Morro do Cachimbo)			Dados Históricos
	Terreno Plano	Terreno Ondulado	Terreno Montanhoso	
<i>Flashover</i>	0,67	0,67	0,67	---
<i>Backflashover</i>	37,60	42,59	64,69	---
Total	38,27	43,26	65,36	25,33



4.3. Análise Paramétrica III – Sensibilidade em Relação às Resistências de Pé de Torre:

	Taxas de Desempenho por 100 km de linha por ano		
	ACAE-DLT (Morro do Cachimbo e terreno plano)		Dados Históricos
	Normal	Log-Normal	
<i>Flashover</i>	0,67	0,67	---
<i>Backflashover</i>	37,60	41,60	---
Total	38,27	42,27	25,33

4.4. Análise Paramétrica IV – Sensibilidade em Relação à Modelagem da Cadeia de Isoladores e ao Modelo do Aterramento Elétrico:

	Taxas de Desempenho por 100 km de linha por ano		
	ACAE-DLT (Morro do Cachimbo, terreno plano e CURVA TENSÃO VERSUS TEMPO)		Dados Históricos
	Normal	Log-Normal	
<i>Flashover</i>	0,67	0,67	---
<i>Backflashover</i>	37,60	41,60	---
Total	38,27	42,27	25,33



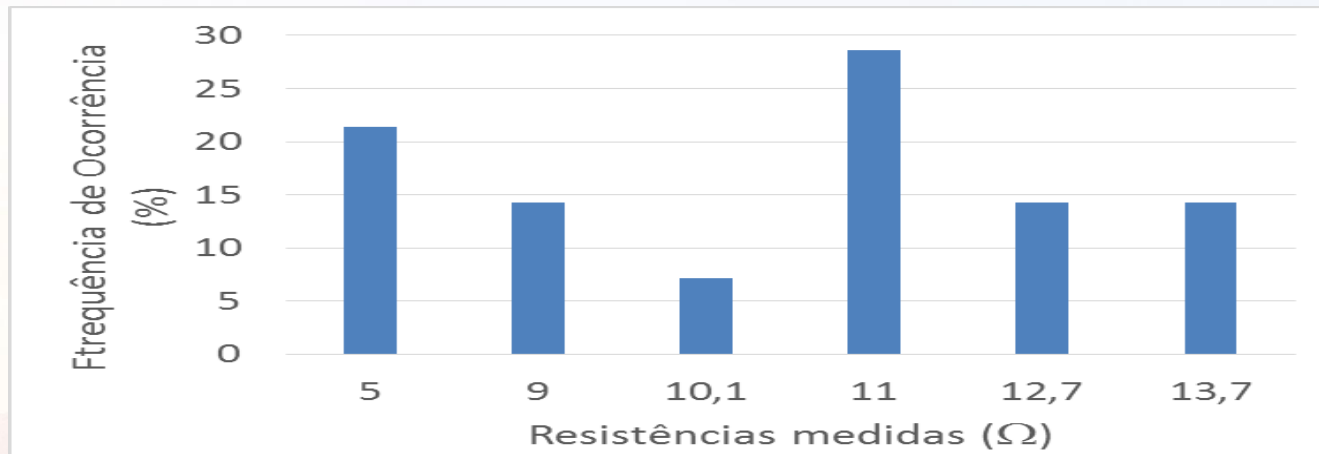
4.0 - RESULTADOS E ANÁLISES DE SENSIBILIDADE

Taxas de Desempenho por 100 km de linha por ano			
	ACAE-DLT (Morro do Cachimbo, terreno plano e <u>PROGRESSÃO DO LÍDER</u>)		Dados Históricos
	Normal	Log-Normal	
<i>Flashover</i>	0,67	0,67	---
<i>Backflashover</i>	12,39	36,23	---
Total	13,06	36,90	25,33

Taxas de Desempenho por 100 km de linha por ano			
	ACAE-DLT (Morro do Cachimbo, terreno plano e <u>MÉTODO DE INTEGRAÇÃO</u>)		Dados Históricos
	Normal	Log-Normal	
Flashover	0,67	0,67	---
Backflashover	29,28	39,07	---
Total	29,95	39,74	25,33



4.5. Análise Paramétrica V – Proposta de Melhoria dos Aterramentos Elétricos (Diminuição das Resistências de Pé-de-Torre):



Valores medidos de resistência de pé de
torre (Ω)

5; 5; 5; 9; 9; 10,1; 11; 11; 11; 11; 12,7; 12,7; 13,7; 13,7

Média (Ω)

10

Desvio padrão (Ω)

3,1



	Taxas de Desempenho por 100 km de linha por ano		
	ACAE-DLT (<u>MORRO DO CACHIMBO,</u> <u>TERRENO PLANO, DISTRIBUIÇÃO NORMAL,</u> <u>MÉTODO DE INTEGRAÇÃO E MODELO</u> <u>ELETROGEOMÉTRICO</u>)		Dados Históricos
	CONJUNTO ORIGINAL	CONJUNTO NOVO	CONJUNTO ORIGINAL
<i>Flashover</i>	0,67	0,67	---
<i>Backflashover</i>	29,28	2,80	---
Total	29,95	3,47	25,33



- Estudo de caso Energisa X GATCI/DEPEL/UFSJ \Rightarrow desempenho linha 69 kV.
- Taxas de desempenho estimadas que mais se aproximam dos dados históricos:
 - ☐ **ACAE-DLT** (em detrimento do *Flash*/IEEE);
 - ☐ Linha inserida em terreno plano;
 - ☐ Parâmetros típicos das ondas de correntes das descargas atmosféricas são os de medições realizadas na Estação de Pesquisas de Descargas Atmosféricas do Morro do Cachimbo;
 - ☐ Distribuição de probabilidade cumulativa das resistências de pé de torre é a normal;
 - ☐ Processo de disrupção nas cadeias de isoladores corresponde ao método de integração.




- Cálculos decorrentes do **ACAE-DLT** são muito próximos dos dados históricos, diferentemente dos resultados do *Flash*:
 - ❑ Ilustra a importância de ferramentas computacionais de caráter probabilístico-estatístico, em detrimento de abordagem determinística.
- Melhoria proposta nos aterramentos elétricos da linha sob estudo:
 - ❑ Reduções das resistências de pé de torre foram calculadas em função das alterações geométricas nos sistemas de aterramento e no processo de estratificação dos solos locais.
 - ❑ Com tais melhorias, a taxa de desempenho estimada pelo **ACAE-DLT** reduz para 3,47 desligamentos/100 km de linha/ano, atendendo às exigências dos organismos reguladores.




- Avaliações do ACAE-DLT, são desconsiderados:
 - ☐ Ionização do solo.
 - ☐ Variação parâmetros elétricos do solo (resistividade e permissividade) com a frequência.
 - Estes fenômenos fazem com a impedância impulsiva do aterramento elétrico seja reduzido.
 - Portanto, suas desconsiderações geram estimativas conservadoras para as taxas de desempenho.
 - Logo, caso tais fenômenos sejam incluídos, a sobre estimativa gerada pelo **ACAE-DLT** é reduzida.

Rodolfo Antônio Ribeiro de Moura

 (32) 3379-2516

 (32) 9 9102-0091

 moura@ufs.j.edu.br

 www.ufsj.edu.br/moura