

Aula 07 – Elevação e Desequilíbrio de Tensão



Prof. Heverton Augusto Pereira

Prof. Mauro de Oliveira Prates

Universidade Federal de Viçosa - UFV

Departamento de Engenharia Elétrica - DEL

Gerência de Especialistas em Sistemas Elétricos de Potência – Gesep

heverton.pereira@ufv.br

www.gesep.ufv.br

TEL: +55 (31) 3899-3266

- Instantâneas: 0,5 a 30 ciclos;
- Momentâneas: 30 ciclos a 3s;
- Temporárias: 3s a 1 minuto.
- causadas por condições de faltas, energização de grandes cargas que requerem altas correntes de partida, ou a perda intermitente de conexões nos cabos do sistema.
- Pode causar afundamento, elevação ou interrupção da tensão.

Recapitulando, Termos e Definições segundo IEC

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Categorias	Conteúdo Espectral Típico	Duração	Magnitude da tensão
2.0 Variações de curta duração			
2.1 Instantânea			
2.1.1 Interrupção		0.5 – 30 ciclos	<0.1 pu
2.1.2 sag		0.5 – 30 ciclos	0.1 - 0.9 pu
2.1.3 swell		0.5 – 30 ciclos	1.1 – 1.8 pu
2.2 momentânea			
2.2.1 Interrupção		30 ciclos – 3s	<0.1 pu
2.2.2 sag		30 ciclos – 3s	0.1 - 0.9 pu
2.2.3 swell		30 ciclos – 3s	1.1 – 1.4 pu
2.3 Temporária			
2.3.1 Interrupção		3s – 1min	<0.1 pu
2.3.2 sag		3s – 1min	0.1 - 0.9 pu
2.3.3 swell		3s – 1min	1.1 – 1.2 pu
3.0 Variações de longa duração			
3.1 Interrupção sustentada		> 1 min	0.0 pu
3.2 Subtensão		> 1 min	0.8-0.9 pu
3.3 Sobretensão		> 1 min	1.1-1.2 pu

Elevação de Tensão

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

- aumento da tensão eficaz do sistema (aumento este entre 10-80%) por um período de meio ciclo até 1 min.

Categorias	Conteúdo Espectral Típico	Duração	Magnitude da tensão
2.0 Variações de curta duração			
2.1 Instantânea			
2.1.1 Interrupção		0.5 – 30 ciclos	<0.1 pu
2.1.2 sag		0.5 – 30 ciclos	0.1 - 0.9 pu
2.1.3 swell		0.5 – 30 ciclos	1.1 – 1.8 pu
2.2 momentânea			
2.2.1 Interrupção		30 ciclos – 3s	<0.1 pu
2.2.2 sag		30 ciclos – 3s	0.1 - 0.9 pu
2.2.3 swell		30 ciclos – 3s	1.1 – 1.4 pu
2.3 Temporária			
2.3.1 Interrupção		3s – 1min	<0.1 pu
2.3.2 sag		3s – 1min	0.1 - 0.9 pu
2.3.3 swell		3s – 1min	1.1 – 1.2 pu

Elevação de Tensão

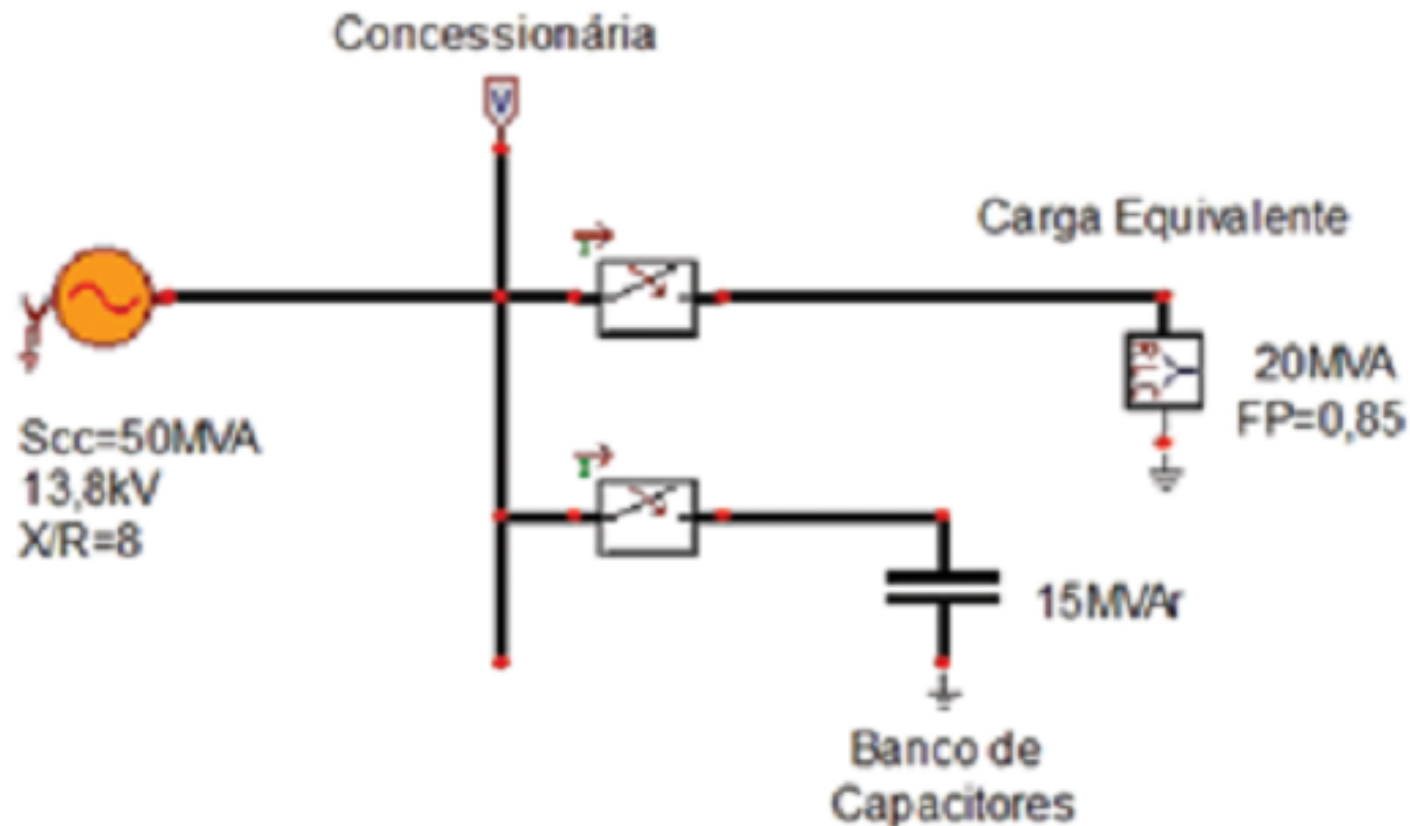
ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

- são usualmente associadas às condições de faltas no sistema, mas **não são tão comuns como afundamentos de tensão**.
- Geralmente ocorre um aumento temporário da tensão em fases não faltosas durante uma falta FT.
- Este fenômeno pode também estar associado à saída de grandes blocos de cargas ou a energização de grandes bancos de capacitores;

Elevação de Tensão

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

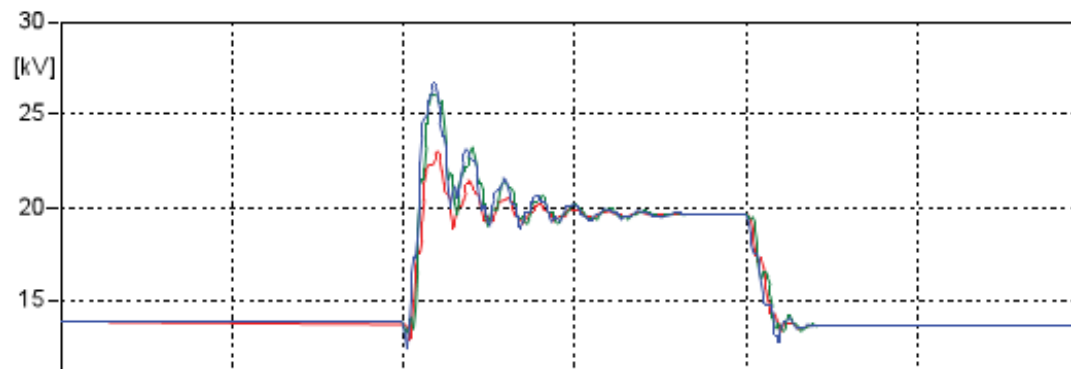
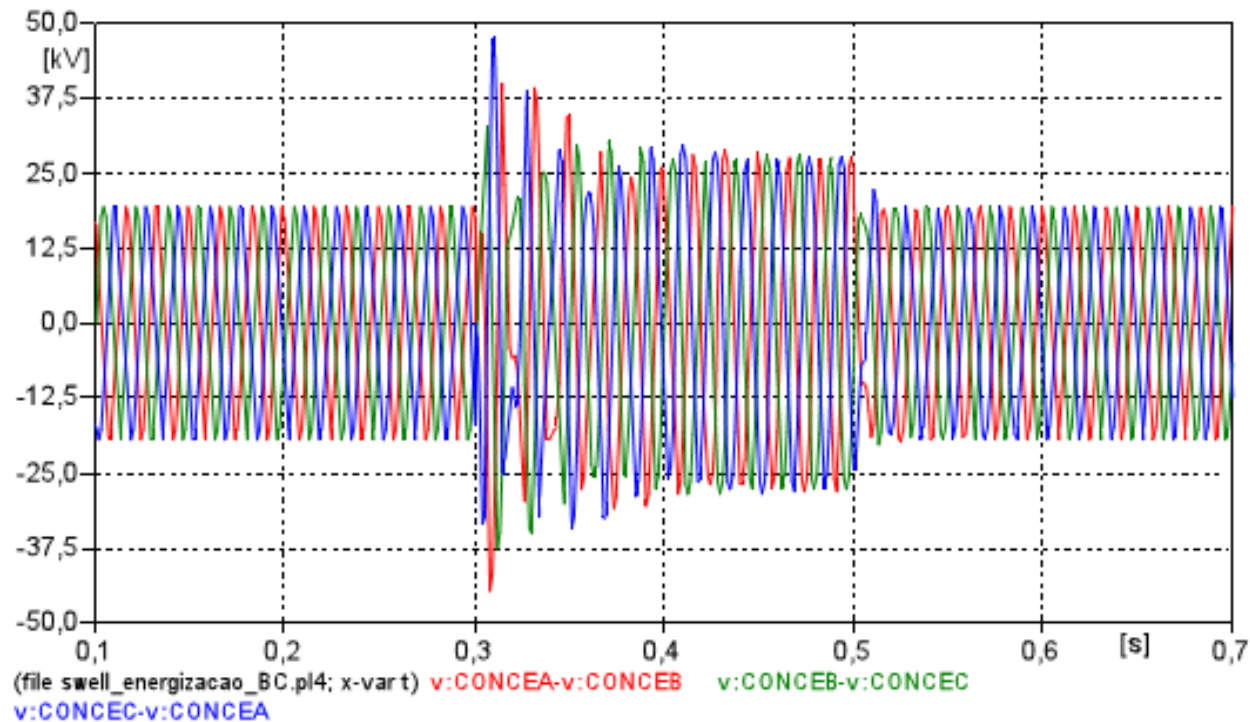
Neste sistema, o banco de capacitores é energizado 200ms antes da conexão da carga ao barramento.



Elevação de Tensão

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Tensões de linha no barramento da concessionária:



Elevação de Tensão

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

- A severidade deste distúrbio durante uma condição de falta é uma função:

- da localização da falta;

- da impedância do sistema e do aterramento:

- Resistência do arco elétrico entre o condutor e a terra, ou entre dois ou mais condutores, para defeitos envolvendo mais de uma fase;

- Resistência de contato devido à oxidação no local da falta;

- Resistência de terra para defeitos englobando a terra.

- Corrente Falta FT:

$$I_a = 3I_a^0 = \frac{3E_a}{Z^1 + Z^2 + Z^0 + 3Z_f}$$

Elevação de Tensão

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

- Dispositivos eletrônicos incluindo ASDs (*Adjustable Speed Drivers*), computadores e controladores eletrônicos, podem apresentar falhas imediatas durante estas condições.
- Transformadores, cabos, barramentos, dispositivos de chaveamento, TPs, TCs e máquinas rotativas podem ter a vida útil reduzida.
- em um banco de capacitores pode, frequentemente, causar danos no equipamento;
- iluminação podem ter um aumento da luminosidade;

Desequilíbrio de Tensão

Desequilíbrio de Tensão

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

- Se manifesta sob três formas distintas:
 - amplitudes diferentes;
 - assimetria nas fases; e
 - assimetria conjunta de amplitudes e fases.

apenas a primeira é freqüentemente evidenciada no sistema elétrico.

- Sistema ideal:

$$V_a = 1,0 \angle 0^\circ$$

$$V_b = 1,0 \angle -120^\circ$$

$$V_c = 1,0 \angle +120^\circ$$

Desequilíbrio de Tensão

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

- definido como o desvio máximo dos valores médios das tensões ou correntes trifásicas, dividido pela média dos mesmos valores, expresso em percentagem; ou
- a razão entre os componentes ou de seqüência negativo ou zero, com o componente de seqüência positivo (IEC e PRODIST).

$$FD\% = \frac{V_-}{V_+} \times 100$$

Em que:

FD% - Fator de desequilíbrio de tensão em porcentagem;

V_- - Módulo da tensão de seqüência negativa;

V_+ - Módulo da tensão de seqüência positiva.

Desequilíbrio de Tensão

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

- Alternativamente, pode-se usar a expressão conhecida como CIGRÉ-C04, que é dada por (PRODIST):

$$VUF = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6 \cdot \beta}}{1 + \sqrt{3 - 6 \cdot \beta}}}$$

Em que:

$$\beta = \frac{|V_{ab}|^4 + |V_{bc}|^4 + |V_{ca}|^4}{\left(|V_{ab}|^2 + |V_{bc}|^2 + |V_{ca}|^2\right)^2}$$

Desequilíbrio de Tensão

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

- o IEEE recomenda que o desequilíbrio trifásico possa ser obtido pela seguinte relação:

$$VUF = \frac{3 \cdot (V_{MAX} - V_{MIN})}{V_A + V_B + V_C} \cdot 100 \%$$

Desequilíbrio de Tensão

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

- Origens:
 - sistemas de distribuição, os quais possuem cargas monofásicas distribuídas inadequadamente, fazendo surgir no circuito tensões de sequência negativa.
 - consumidores alimentados de forma trifásica possuem uma má distribuição de carga em seus circuitos internos;
 - resultado da queima de fusíveis em uma fase de um banco de capacitores trifásicos.

Desequilíbrio de Tensão

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

- Podem provocar problemas indesejáveis em:
 - **Motores de Indução:** indesejável interação entre os dois campos (oriundos da seq. Positiva e negativa), o que resulta num conjugado pulsante no eixo da máquina
 - além de elevações de temperatura típicas (redução da expectativa de vida útil dos motores).
 - **Máquinas síncronas:** provoca perdas no rotor, principalmente no enrolamento de amortecimento, que possui baixa impedância onde, conseqüentemente, a corrente será mais elevada.

Desequilíbrio de Tensão

ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

- Podem provocar problemas indesejáveis em:
 - **Retificadores:** passam a gerar, além das correntes harmônicas características, o terceiro harmônico e seus múltiplos.
 - possibilita manifestação de ressonâncias não previstas, visto que não é prática a instalação de filtros de terceiro harmônico em instalações desta natureza e, isto pode causar danos a uma série de equipamentos.

Desequilíbrio de Tensão

- Limites permissíveis:

NORMA	LIMITE
NEMA MGI 14-34 (1)	2%
ANSI C.84.1-1989 (2)	3%
IEEE Orange Book – 446/1995 (3)	2,5%
GTCP/CTST/GCPS – ELETROBRÁS (4)	1,5% e 2%
ONS e ANEEL	2%

- adota-se, de maneira geral, o limite de 2% para desequilíbrios de tensão, sem qualquer tipo de prejuízo à operação de cargas lineares e não lineares.

Descrição	Quantidade	Preço	Valor (R\$)
Consumo	137	0,866277	118,68
Adicional Band. Amarela			1,28
Adicional Band. Vermelha			4,23
Cip-Ilum Pub Pref Ronic			12,72

Total a pagar: R\$ 136,91

Composição do Consumo (R\$)

Compra de Energia	Transmissão	Distribuição (Ceisa)	Energia Setorials	Tributos	Total (R\$)
42,03	5,02	28,10	7,96	41,08	124,19

Histórico do Consumo (kWh)

Mês	Consumo (kWh)
AGO	137
JUL	135
JUN	141
MAI	174
ABR	117
MAR	111

Informações de tributos

Tributos	Base de cálculo	Alíquota (%)	Valor (R\$)
ICMS	124,19	25,0000	31,05
PIS	124,19	1,3629	1,70
COFINS	124,19	6,7036	8,33

Reservado ao Fisco Período Fiscal 22/08/2017
60D512B4DC7C2DDC18C5A2D025C53B888

Informações do consumo do mês

Nº Medidor	Leitura Anterior	Leitura Atual	Consumo	Qtde. de dias	Constante	Tarifa sem tributos (R\$)
13477981	10.136	10.273	137	32	01	2.284/2017

21/07/2017 22/08/2017

Reaviso de Vencimento

Numero do Programa Social

Indicadores de continuidade

JUN2017	DIC	FIC	DMIC
Meta Men	6,47	6,30	3,80
Meta Tri	12,94	10,61	0,00
Meta Anu	25,89	21,23	0,00
Apurado Men	0,00	0,00	0,00

Conjunto: PARAGOMINAS I
EUSD(R\$): 46,36

Datas

Emissão	Apresentação	Previsão próxima leitura
22/08/2017	22/08/2017	21/09/2017

Informações para o cliente

DEBITOS: 03/2016 R\$107,54 10/2016 R\$161,96
Fatura do mes 06/2017 arrecadada por debito automatico.
Ainda constam em aberto em nosso sistema contas vencidas do ano de 2016. Regularize e receba o recibo anual dequitacao de debitos.

Indicadores de continuidade

JUN2017	DIC	FIC	DMIC
Meta Men	6,47	6,30	3,80
Meta Tri	12,94	10,61	0,00
Meta Anu	25,89	21,23	0,00
Apurado Men	0,00	0,00	0,00

Conjunto: PARAGOMINAS I
EUSD(R\$): 46,36

Tabela 4

Faixa de variação dos Limites Anuais de Indicadores de Continuidade dos Conjuntos (DEC ou FEC)	Limite de Continuidade por Unidade Consumidora						
	Unidades Consumidoras com Tensão Contratada ≤ 1 kV situadas em áreas urbanas						
	DIC (horas)			FIC (interrupções)			DMIC (horas)
	Anual	Trim.	Mensal	Anual	Trim.	Mensal	Mensal
1	16,00	8,00	4,00	11,20	5,60	2,80	2,09
2	16,47	8,23	4,11	11,45	5,72	2,86	2,18
3	16,95	8,47	4,23	11,70	5,85	2,92	2,26
4	17,43	8,71	4,35	11,95	5,97	2,98	2,35
5	17,91	8,95	4,47	12,20	6,10	3,05	2,43
6	18,38	9,19	4,59	12,45	6,22	3,11	2,52
7	18,86	9,43	4,71	12,70	6,35	3,17	2,60
8	19,34	9,67	4,83	12,95	6,47	3,23	2,69
9	19,82	9,91	4,95	13,20	6,60	3,30	2,77
10	20,30	10,15	5,07	13,45	6,72	3,36	2,86
11	20,77	10,38	5,19	13,70	6,85	3,42	2,94
12	21,25	10,62	5,31	13,95	6,97	3,48	3,03
13	21,73	10,86	5,43	14,20	7,10	3,55	3,11
14	22,21	11,10	5,55	14,45	7,22	3,61	3,20
15	22,69	11,34	5,67	14,70	7,35	3,67	3,29
16	23,16	11,58	5,79	14,95	7,47	3,73	3,37
17	23,64	11,82	5,91	15,20	7,60	3,80	3,46
18	24,12	12,06	6,03	15,45	7,72	3,86	3,54
19	24,60	12,30	6,15	15,70	7,85	3,92	
20	25,08	12,54	6,27	15,96	7,98	3,99	
>20 e ≤22	25,89	12,94	6,47	16,47	8,23	4,11	

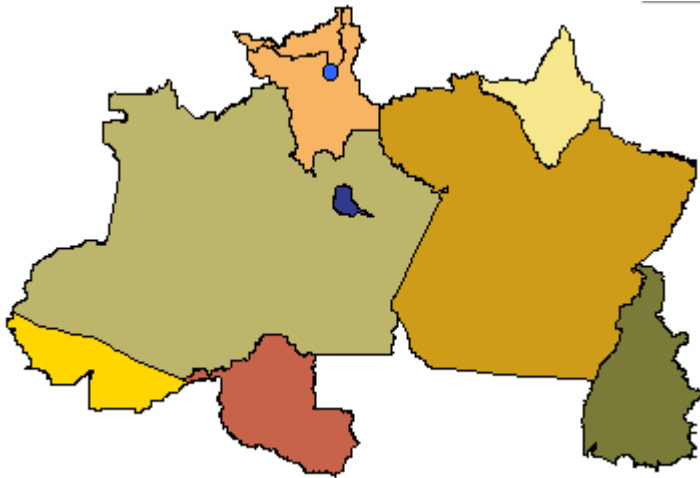
ELT 428 – QUALIDADE DE ENERGIA

Jun/2017 - Celpa

Indicadores de continuidade			
JUN/2017	DIC	FIC	DMIC
Meta Men	6,47	5,30	3,80
Meta Tri	12,94	10,61	0,00
Meta Anu	25,89	21,23	0,00
Apurado Men	0,00	0,00	0,00
Conjunto: PARAGOMINAS I			
EUSD(R\$): 46,36			

Ago/2017 - CEMIG

Indicadores de Qualidade de Fornecimento			
Viçosa-Mês:06/2017	Valores Permitidos		
Apurado Mensal	Mensal	Trimestral	Anual
DIC	1,46	4,83	9,67
FIC	1,00	3,11	6,22
DMIC	1,46	2,69	-
DICRI	-	12,22	-
Tensão: Nominal= 127/220 V Min.= 117/202 V Máx.= 133/231 V			
Valor Encargo Uso Sist. Distribuição: R\$ 25,61			



<http://www.aneel.gov.br/conformidade>



Indicadores de conformidade do nível de tensão em regime permanente

Região NORTE

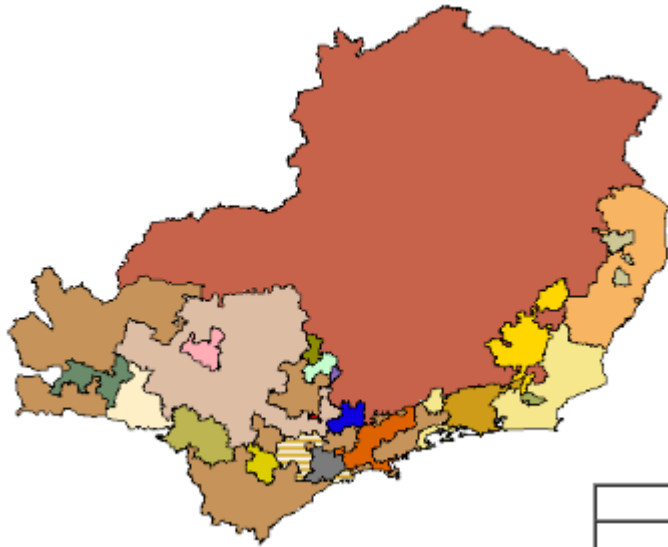
CELPA

ANO	DRCE	DRPE	Quantidade de compensações pagas	Valor de compensações (R\$)
2017	0,29	0,93	10412	257.185,08
2016	3,50	4,58	21218	933.738,92
2015	2,17	5,09	9925	441.086,13
2014	0,05	4,89	0	0,00
2013	0,28	7,30	3733	465.265,97
2012	0,16	7,71	14630	1.589.929,94
2011	0,08	7,25	58850	8.899.147,94
2010	0,51	10,81	0	0,00
2009	1,10	13,16		
2008	0,29	11,44		
2007	0,71	11,05		
2006	1,71	9,96		
2005	0,63	9,50		
2004	0,08	4,30		
2003	0,82	5,93		

As informações para o ano corrente são parciais, pois o envio dos dados ainda não está completo

A quantidade e o valor pago das compensações só estão disponíveis a partir de 2010

<http://www.aneel.gov.br/conformidade>



Indicadores de conformidade do nível de tensão em regime permanente				
Região SUDESTE				
CEMIG-D				
ANO	DRCE	DRPE	Quantidade de compensações pagas	Valor de compensações (R\$)
2017	0,01	0,19	31071	2.155.383,32
2016	0,01	0,20	53685	4.086.880,54
2015	0,01	0,16	46090	2.115.476,30
2014	0,00	0,13	37423	1.323.322,59
2013	0,01	0,17	30134	1.645.082,24
2012	0,01	0,37	22065	3.202.313,80
2011	0,01	0,17	25622	2.141.788,03
2010	0,02	0,44	0	0,00
2009	0,01	0,25		
2008	0,02	0,22		
2007	0,11	0,68		
2006	0,23	1,48		
2005	0,03	1,10		
2004	0,28	1,79		
2003	0,54	3,65		