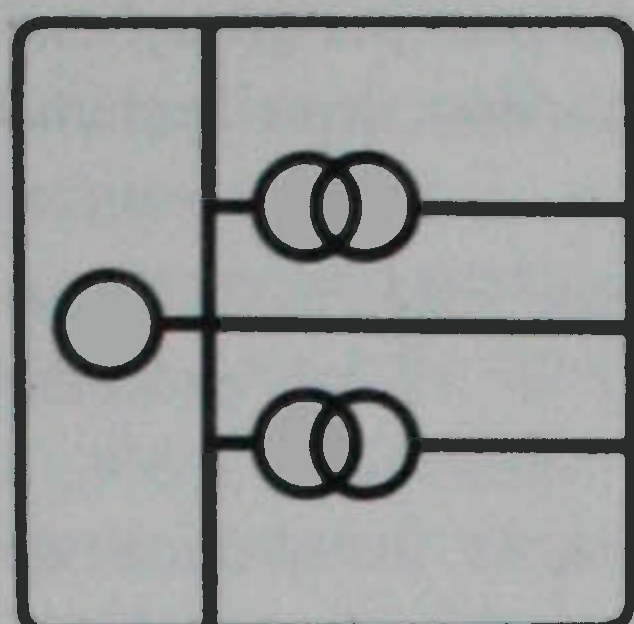




A nova publicação CEI 479-1 (1984): Efeitos da corrente eléctrica sobre o corpo humano. Perspectivas de ajustamento das metodologias de protecção de pessoas contra contactos acidentais

resumo

A consideração dos resultados mais recentes dos estudos sobre o comportamento do corpo humano à passagem da corrente eléctrica, nomeadamente nos aspectos da impedância do corpo humano e da fibrilação ventricular, apontaram para uma renovação da Publicação CEI 479 (1974). Neste trabalho, analisam-se comparativamente os dois documentos (1974 e 1984) ressaltando-se os ajustamentos a considerar nas metodologias de verificação das condições de protecção contra contactos acidentais.

1 — Introdução

A observação dos efeitos da corrente eléctrica sobre o corpo humano vem de longa data bem como as preocupações dos técnicos em assegurar o melhor nível de segurança de utilização.

No entanto, uma análise electropatológica do problema surgiu mais tarde, em especial após a reunião de 1964 da Comissão Electrotécnica Internacional (CEI), em Teerão, com a criação na Comissão de Estudos n.º 64 (CE 64), dos Grupos de Trabalho n.º 4 e 9 destinados, respectivamente, ao estudo e recolha de informações relacionadas com os efeitos patofisio-

abstract

Last years, the knowledge on electrical impedance of the human body and ventricular fibrillation of the heart induced by electric current has grown, thanks to modern measuring technics and devices and new statistical methods. That is determining for designing the protection against electrical shock and has justified a new IEC Publication (IEC 479-1), edited in 1984. In this paper, the comparison of those documents is made and new orientations of protection's methods against accidental contacts are studied.

lógicos da corrente eléctrica sobre o corpo humano e ao estudo dos métodos de protecção de pessoas contra os choques eléctricos com interrupção automática da alimentação.

Esta recolha de dados tinha em vista a inclusão dos resultados na definição das regras de instalação a propor internacionalmente.

O trabalho dos GT 4 e GT 9 foi frutuoso e, o correspondente ao primeiro, culminou na elaboração da Publicação CEI 479 — Efeitos da corrente eléc-

(*) L. M. Vilela Pinto, Eng. Elect. (U. P.).

trica sobre o corpo humano, editado em 1974 que introduziu largamente os conhecimentos científicos adquiridos, nomeadamente, os referentes à impedância do corpo humano, ao comportamento à fibrilação ventricular e ao efeito da frequência superior à industrial.

Foi este documento que influenciou a filosofia de protecção de pessoas dos novos Regulamentos de Segurança, actualmente em uso e com resultados assinaláveis (controlo eficiente da evolução dos acidentes eléctricos) ⁽¹⁾.

O impacto verificado, a nível mundial, desta Publicação suscitou, desde logo, o interesse no aprofundamento dos dados já recolhidos, em especial os resultantes dos trabalhos de Biegelmeier (Áustria) [1] e da Escola de Freiburg (Alemanha) [5].

O conjunto e a precisão dos novos conhecimentos adquiridos ⁽²⁾ justificou a revisão da citada Publicação, o que foi concluído e está disponível para os técnicos interessados [4].

As principais alterações propostas foram já objecto de trabalho anteriormente publicado [2], em que se faz referência às novas zonas de efeitos patofisiológicos, à influência do trajecto da corrente eléctrica (fibrilação ventricular) e à impedância do corpo humano.

Estes elementos novos, resultando de um conhecimento mais profundo do comportamento humano, necessariamente irão induzir alterações para ajustamento das metodologias até agora consideradas para protecção de pessoas (contactos directos e indirectos), quer quanto à forma da corrente, quer quanto ao comportamento do corpo humano, no sentido da segurança e conforto na utilização.

Neste trabalho, apontam-se as principais modificações operadas com o aparecimento da Publicação CEI 479-1 (1984) e apontam-se perspectivas de evolução.

2 — Análise da Publicação CEI 479-1 na perspectiva da protecção contra contactos indirectos

2.1 — Generalidades

As metodologias activas de protecção de pessoas contra contactos indirectos baseiam-se na interrupção dos circuitos afectados por defeitos de isolamento num intervalo de tempo compatível com um nível de segurança definido de acordo com as características do local (ambientais e de utilização).

Esta medida, que tem a ver directamente com o impedimento da manutenção, numa dada massa afectada por um defeito de isolamento, de uma tensão de

contacto presumível (U_c) considerada perigosa, está relacionada com o comportamento do corpo humano à passagem da corrente eléctrica.

De facto, sabido que o acidente eléctrico é fortemente determinado pelo binómio (I, t), no processo de segurança são envolvidas as variáveis U_c e t , a primeira resultando da consideração simultânea de I e Z (impedância do corpo humano), por sua vez função de U_c (tensão de contacto real).

A função $U_c(t)$ — curva de segurança — define-nos, assim, o tempo máximo de permanência de uma dada tensão de contacto, resultante de um defeito de isolamento.

A segurança numa instalação eléctrica é, assim, definida a partir do respeito de uma dada curva de segurança. Para o estabelecimento de um nível de segurança correcto admite a Publicação CEI 479-1 que a passagem de corrente eléctrica, em caso de electrificação, não deve produzir quaisquer danos orgânicos, embora sejam de admitir algumas perturbações reversíveis (contracções musculares, dificuldades de respiração, etc.) não resultando, em regra, sequelas após interrupção da corrente.

Admite-se, assim, um traçado de curva de segurança S situada na zona 3 de efeitos [2, 4], um pouco diferente da proposta anteriormente — CEI 479 (fig. 1).

Tal situação resulta, como já foi apontado [2], de um melhor conhecimento do início do desenvolvimento da fibrilação ventricular, em função das intensidades de corrente e dos tempos de exposição.

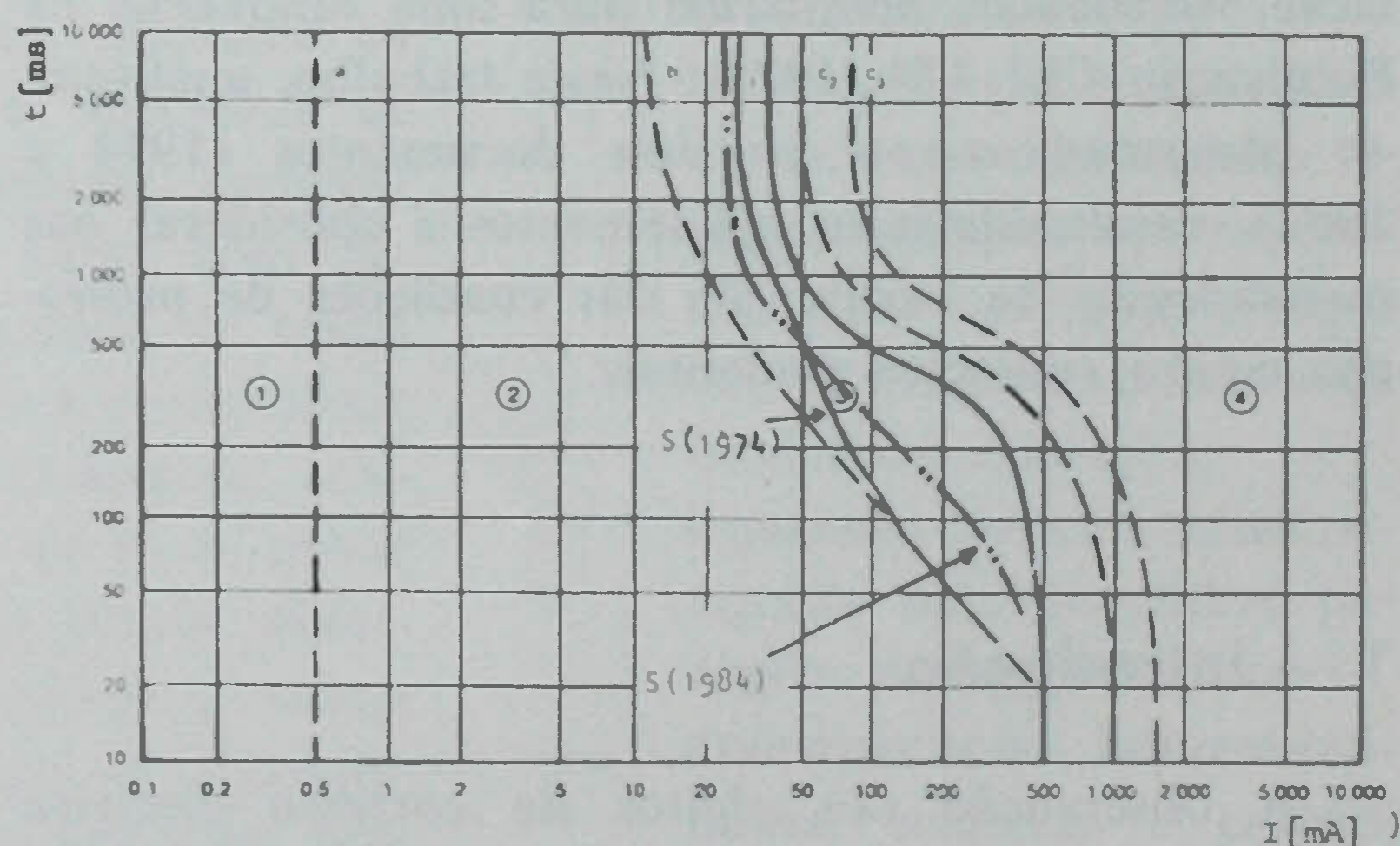


Fig. 1 — Curvas de segurança de acordo com CEI 479 (1974) e CEI 479 — 1 (1984)

(1) O Regulamento de Segurança de Instalações de Utilização de Energia Eléctrica (D. L. n.º 740/74 de 26/12) já beneficiou em parte desse documento.

(2) De notar que os dados recolhidos resultam, também aqui, de experiências feitas sobre animais e de observações clínicas. No Homem, os dados disponíveis referem-se apenas a experiências com correntes de choque de curta duração.

Aceites estes pares (I, t), a curva de segurança $U_c(t)$ exige o conhecimento da impedância do corpo humano.

As novas orientações CEI [4] apontam basicamente para três situações de estudo (Quadro I).

Para as situações I e II ⁽³⁾, a impedância total do corpo humano pode ser dada, respectivamente, por expressões do tipo [3]:

$$Z_t = 1000 + 0,5 Z_{5\%}$$
$$Z_t = 200 + 0,5 Z_{5\%}$$

em que os valores fixos iniciais correspondem à consideração das resistências de solo previsíveis (1000 Ω para o solo seco e 200 Ω para o solo molhado) e $Z_{5\%}$ são os valores da impedância probabilística do corpo humano não ultrapassados por 5 % da população [4] ⁽⁴⁾.

O coeficiente 0,5 tem em atenção a redução do contacto base (mão-mão/pé) ao duplo contacto duas mãos-dois pés [4].

Nestas circunstâncias, e, tomando em consideração a nova curva S, os valores do Quadro II, indicam as novas relações $U_c(t)$.

A análise destes valores permite concluir que as diferenças são apenas de pormenor, verificando-se, nomeadamente, para as condições normais e habituais ($U_s = 50$ V) um ligeiro aumento do tempo máximo

⁽³⁾ O terceiro caso corresponde a uma situação muito específica em que são necessárias medidas de protecção muito apertadas (uso de T. R. S. com limite de tensão limite convencional), razão porque se não justifica aqui a indicação da expressão Z_t .

⁽⁴⁾ Alguns dos valores de impedância apresentados em [2] foram ajustados por [4] como se indica:

U_c [V]	Z_t [Ω]		
	5 %	50 %	95 %
50	—	2625	4375
220	—	1350	2125

QUADRO I

Situações de análise da impedância do corpo humano

Situações	Tipo de local	Estado da pele	Resistência do solo
I	Secos ou húmidos	Seca	Elevada (a)
II	Molhados	Molhada	Baixa
III	Imersos	Imersa (b)	Nula

a) Inclui-se a resistência de contacto do calçado.
b) A impedância da pele considera-se nula.

QUADRO II

Valores comparativos de Z_t, I e t em função de U_c de acordo com as Publicações CEI 479 e CEI 479-1

Situações U_c [V]	SITUAÇÃO I					SITUAÇÃO II			
	Z_t [Ω]	Z_t [Ω] (a)	I [mA]	t [s]	t [s] (b)	Z_t [Ω]	I [mA]	t [s]	t [s] (c)
25	—	—	—	—	—	1075	23	5	5
50	1725	2000	29	5	5	925	54	0,47	1
90	1600	1600	56	0,45	0,5	780	115	0,25	0,3
110	1535	—	72	0,36	—	730	151	0,18	0,2
220	1375	1050	160	0,17	0,05	575	383	0,035	0,05
500	1360	—	368	0,04	—	560	893	—	—

a) De acordo com CEI 479 (1974).
b) De acordo com CEI 364-4-41 e NF C 15-100.
c) De acordo com D.L. n.º 740/74 de 26/12 (Art. 598.º).

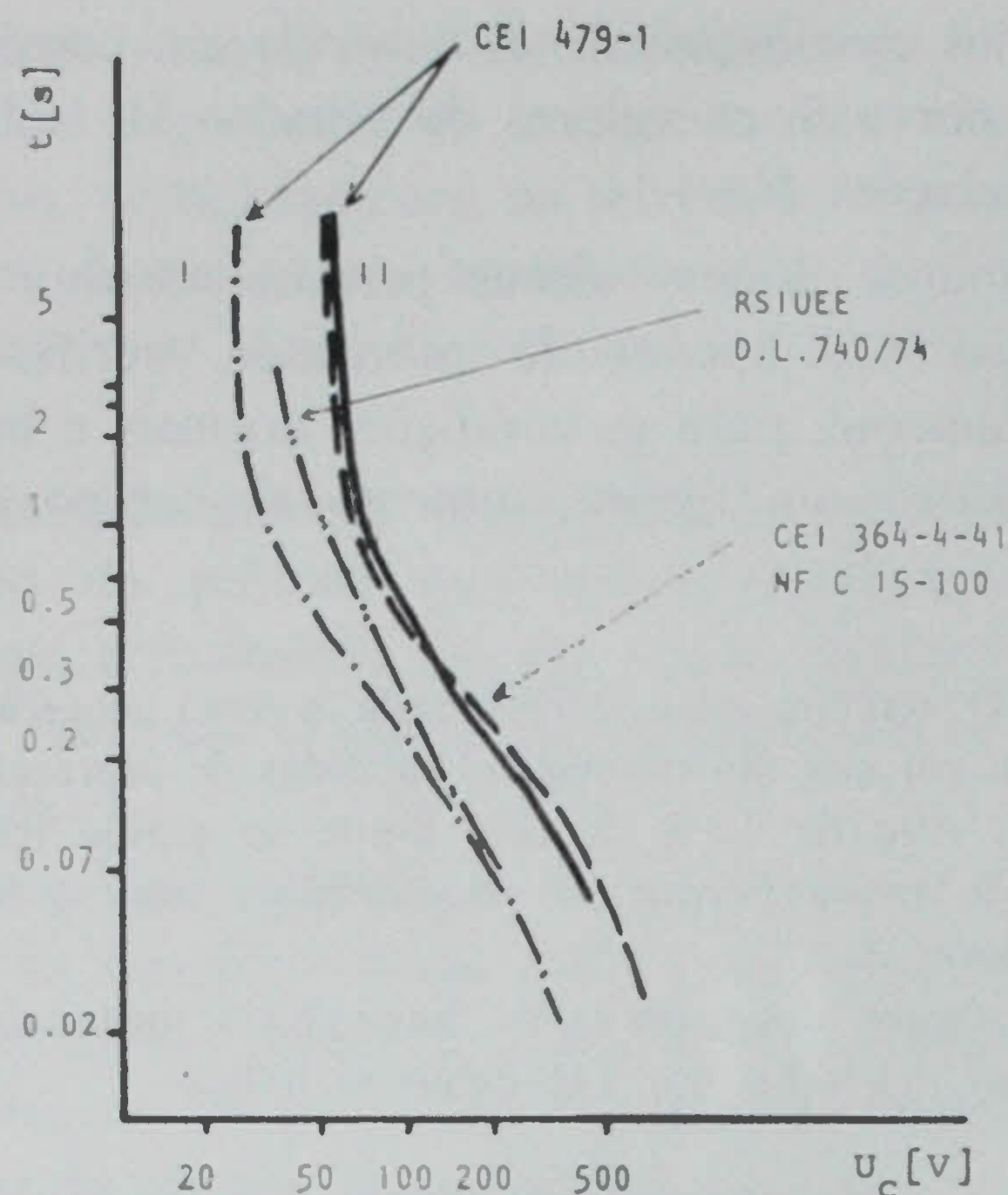


Fig. 2 — Evolução das curvas de segurança $U_c(t)$

de permanência da tensão de contacto para os escalões mais elevados (para 220 V o tempo passa de 0,05 s para 0,17 s).

Para escalões menores nota-se uma diminuição dos tempos (para 90 V o tempo passa de 0,5 s para 0,45 s).

No que se refere às condições standard mais severas ($U_s = 25$ V) os novos valores apontam para uma ligeira descida global (para 110 V o tempo passa de 0,2 s para 0,18 s).

A figura 2 apresenta graficamente os resultados.

2.2 — Análise das condições de protecção contra contactos indirectos

O estudo dos elementos atrás apontados permite-nos concluir que as metodologias activas base de protecção contra contactos indirectos segundo os regimes

de neutro das instalações (TT, TN, IT (CEI 364-3-1) ou IASTD) deverão apenas ser ajustadas nas verificações comparativas dos tempos totais de funcionamento dos aparelhos de protecção de pessoas utilizados e os respectivos equivalentes determinados pelas novas orientações da CEI, traduzidas na forma de curvas de segurança.

No caso da protecção ser conseguida pela utilização sistemática de aparelhos sensíveis à corrente residual-diferencial adequados às circunstâncias (em especial no sistema TT), as verificações continuam a não ser relevantes dado que as características de funcionamento destes aparelhos estão bem à esquerda das novas curvas de segurança.

Nas outras situações (sistemas TN e IT sem recurso à protecção diferencial), as verificações só têm significado efectivo para a utilização de corta-circuitos fusíveis, uma vez que para a utilização de disjuntores magneto-térmicos⁽⁵⁾, na condição de não serem retardados por motivos de selectividade, por exemplo, os tempos de funcionamento na zona de funcionamento magnético são igualmente compatíveis com os tempos agora definidos para segurança das pessoas (fig. 3).

3 — Análise da Publicação CEI 479-1 na perspectiva da protecção contra contactos directos

As metodologias de protecção contra contactos directos baseam-se em medidas de isolamento das partes activas (isolamento funcional, isolamento suplementar nos aparelhos de duplo isolamento) que são

⁽⁵⁾ As condições de protecção exigem que a corrente de defeito seja, pelo menos, igual à corrente limiar de funcionamento do disparador magnético (I'_d).

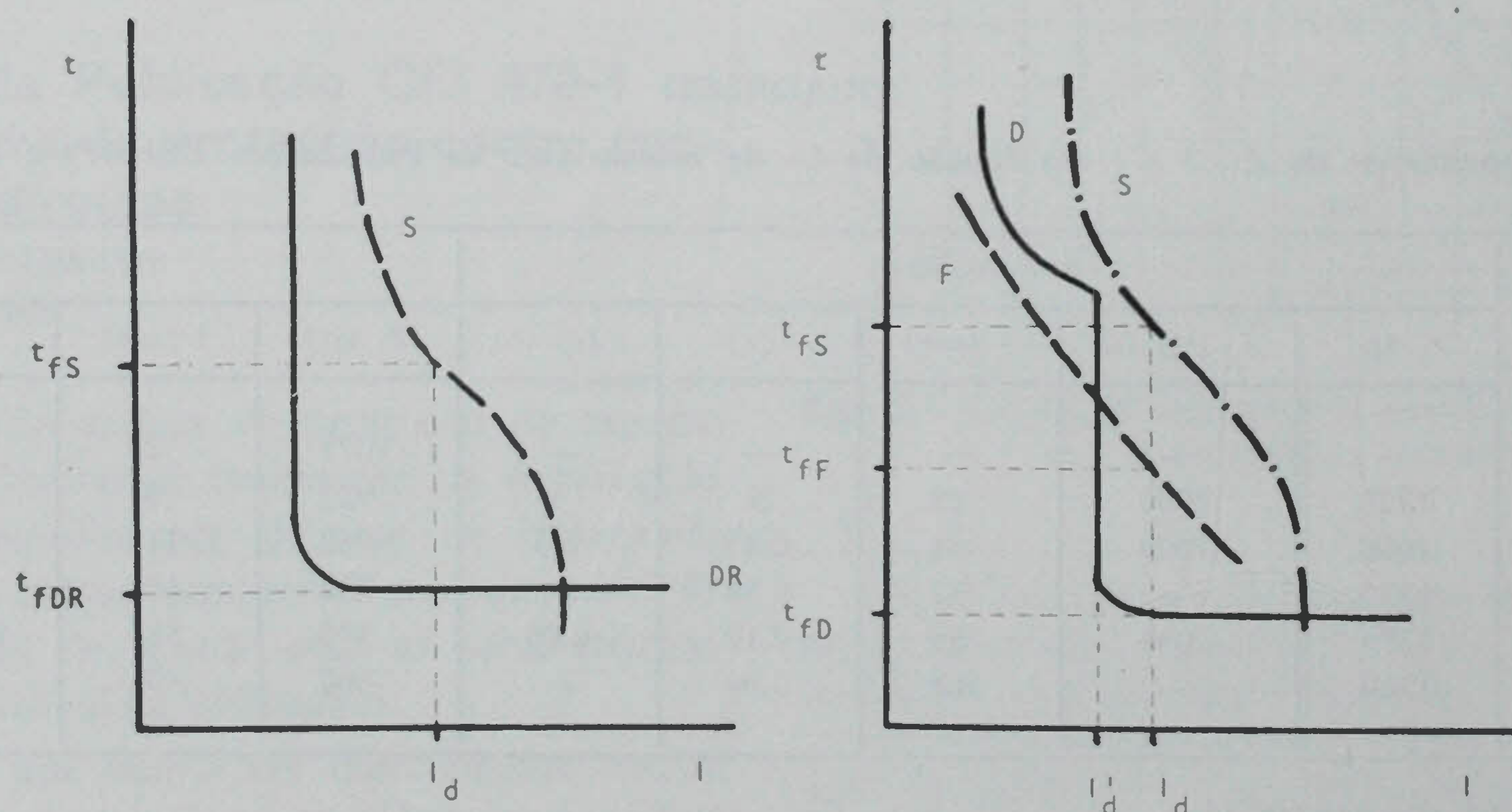


Fig. 3 — Verificação das condições de protecção contra contactos indirectos

previstas na construção dos aparelhos e equipamentos eléctricos.

Mau grado a enorme evolução dos materiais de isolamento eléctrico, quer em termos de qualidade inicial, quer em termos de comportamento ao envelhecimento, não é ainda possível a obtenção de equipamentos «quase» perfeitos sob o ponto de vista do utilizador, isto em grande parte porque são imprevisíveis as utilizações menos correctas, não só na área da adequação aos locais, mas também na da operação em condições deficientes (sobrecarga, etc.).

Nestas circunstâncias, pode ter interesse o estabelecimento de medidas complementares de segurança, em especial a utilização de aparelhos diferenciais de alta sensibilidade.

Esta técnica de protecção de pessoas, cada vez com maior crédito, mesmo em Países tradicionalmente não utilizadores (E. U. A.), aparece plenamente justificada em situações de risco especial dificilmente controlável, tais como:

- Utilização de equipamentos portáteis em locais expostos.
- Estaleiros e instalações provisórias (dificuldade de garantir a qualidade do sistema de terra de protecção).
- Alimentação de caravanas, iates e veículos automóveis.
- Instalações de aquecimento de ambiente com recurso a canalizações sem bainha metálica embebidas no solo e/ou paredes.

As características de funcionamento destes aparelhos, resultantes de uma sofisticada tecnologia de concepção e fabrico (conseguem-se potências de funcionamento extremamente baixas — da ordem de alguns μ VA) encontram-se bem à esquerda das curvas de segurança a considerar (nesta situação a curva limite de efeitos pato-fisiológicos não perigosos [6, 8]) pelo que a protecção de pessoas se encontra completamente garantida.

Para esta técnica de protecção, não há alterações introduzidas pela recente publicação da CEI, em apreço.

4 — Conclusões

A recente Publicação CEI 479-1 apresenta-se como um documento imprescindível na definição dos níveis de segurança de pessoas em instalações eléctricas, indicando o «estado da arte» no conhecimento dos efeitos da corrente eléctrica alternada à frequência industrial sobre o corpo humano, bem como da corrente contínua.

O ajustamento das curvas de segurança para situações típicas de utilização torna-se, assim, necessário na verificação das condições de protecção de pessoas contra contactos indirectos com recurso a medidas activas.

A utilização das metodologias de protecção permanece então válida no seu conjunto.

O uso de aparelhos diferenciais de alta sensibilidade para protecção contra contactos directos, aparece, mais uma vez, de grande importância na resolução de situações de risco não controlável, como corolário dos resultados estatísticos de acidentes eléctricos.

De facto, a observação de estatísticas recentes (elaboradas embora em condições limitativas de validação de resultados nacionais) aponta que a negligência, a imprudência e a actuação intempestiva dos utilizadores são determinantes ⁽⁶⁾.

⁽⁶⁾ Um estudo estatístico dos acidentes eléctricos em Portugal entre os anos de 1980/1985 [9] aponta para uma percentagem da ordem dos 90 % do total dos acidentes conhecidos, devida às razões apontadas.

BIBLIOGRAFIA E REFERÊNCIAS

- [1] G. Biegelmeier, *The electric impedance of the human body*, R. G. E. n.º 11, 1985.
- [2] L. M. Vilela Pinto, *O comportamento do corpo humano à passagem da corrente eléctrica. Novas orientações em estudo na Comissão Electrotécnica Internacional (CEI)*, ELECTRICIDADE, n.º 193, 1983.
- [3] C. Rémond, *Les mesures de protection contre les risques de choc électrique*, R. G. E., n.º 11, 1985.
- [4] Publicação CEI 479-1 (1984), *Effets du courant passant par le corps humain. Première partie: Aspects généraux. Chapitre 1: Impedance électrique du corps humain. Chapitre 2: Effets du courant alternatif de fréquence comprise entre 15 Hz et 100 Hz. Chapitre 3: Effets du courant continu*, CEI, 1984.
- [5] J. Weirich, K. Haverkamp, H. Antoni, *Ventricular fibrillation of the heart induced by electric current*, R G E, n.º 11, 1985.
- [6] L. M. Vilela Pinto, M. A. S. Coelho, *A Segurança das Pessoas em Instalações Eléctricas*, Porto Editora, Lda., 1980.
- [7] *Regulamento de Segurança de Instalações de Utilização de Energia Eléctrica*, D.L. n.º 740/74 de 26/12, 1974.
- [8] L. M. Vilela Pinto, *A protecção de pessoas através da utilização de aparelhos sensíveis à corrente residual-diferencial: alguns aspectos a considerar no projecto e exploração das instalações*, ELECTRICIDADE, n.º 196, 1984.
- [9] J. F. Pereira de Vasconcelos, *Os acidentes eléctricos diminuem*, Jornal de Notícias, Secção de Higiene e Segurança, 13/1/1986, 1986.