

NOMEX® TIPO 410

O NOMEX® Tipo 410 é um papel isolante calandrado com uma rigidez dielétrica inerente elevada, robustez mecânica, flexibilidade e resistência elástica. O NOMEX® Tipo 410 constitui a forma original dos papéis NOMEX® e tem uma utilização generalizada na maioria das aplicações em equipamentos elétricos. Disponível em 12 espessuras (de 0,05 a 0,76 mm) (2 a 30 mil.poleg.), o NOMEX® Tipo 410 é utilizado em praticamente todas as aplicações envolvendo isolantes elétricos.

Propriedades elétricas

No Quadro I encontram-se os valores típicos das propriedades elétricas do NOMEX® Tipo 410. Os dados relativos à rigidez dielétrica em Elevação Rápida CA apresentados no Quadro I representam os níveis de resistência à tensão, durante 10 a 20 segundos à frequência de 60 Hz (estes valores são diferentes da rigidez potencial a longo prazo). De modo a minimizar o risco de ocorrência de descargas parciais, a DuPont recomenda que os níveis de tensão contínuas em transformadores não ultra-

DADOS TÉCNICOS

passem 1,6 kV/mm (40 V/mil). Os dados relativos à rigidez dielétrica em Impulso de Onda Completa apresentados no Quadro I foram obtidos com folhas planas (por exemplo, aplicações em camada ou em barreira). A geometria do sistema reflete-se nos valores da rigidez em impulso correspondentes a este material. Saliente-se, entretanto, que os dados relativos à rigidez dielétrica correspondem a valores típicos, não devendo por isso ser utilizados em projetos (mediante solicitação nesse sentido, poderão ser fornecidos valores para projeto).

Conforme ilustrado pela Figura 1, a temperatura tem um efeito reduzido na rigidez dielétrica e na constante dielétrica.

Quadro I – PROPRIEDAS ELÉTRICAS TÍPICAS

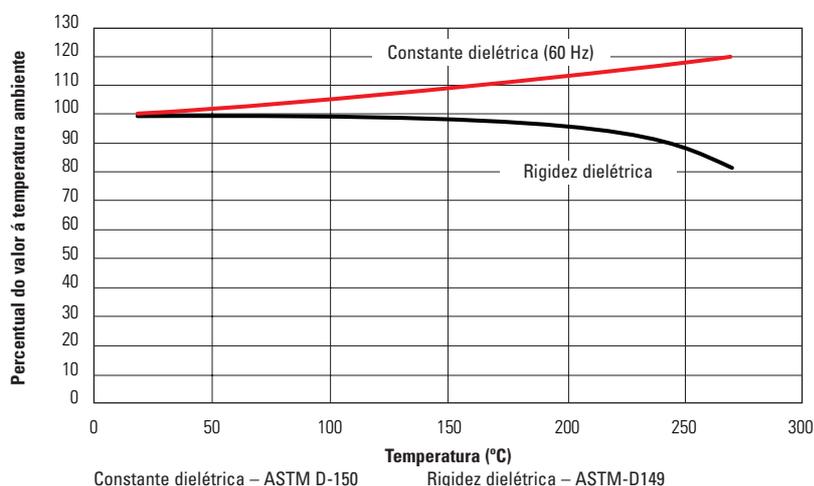
Espessura nominal (mil) (mm)	2 0,05	3 0,08	5 0,13	7 0,18	10 0,25	12 0,30	15 0,38	20 0,51	24 0,61	25,5 0,65	29 0,73	30 0,76
Rigidez dielétrica - Elevação rápida CA ¹⁾												
(V/mil)	430	550	680	840	815	820	830	810	800	730	750	680
(kV/mm)	17	22	27	33	32	32	33	32	31	29	30	27
- Impulso de onda completa ²⁾												
(V/mil)	1000	1000	1400	1400	1600	N/A	1400	1400	N/A	N/A	N/A	1250
(kV/mm)	39	39	55	55	63	N/A	55	55	N/A	N/A	N/A	49
Constante dielétrica ³⁾ a 60 Hz	1.6	1.6	2.4	2.7	2.7	2.9	3.2	3.4	3.7	N/A	3.7	3.7
Fator de dissipação ³⁾ a 60 Hz (x10 ⁻³)	4	5	6	6	6	7	7	7	7	N/A	7	7

¹⁾ ASTM D-149 com eletrodos de 50 mm (2 polegadas), elevação rápida; corresponde a IEC 243-1 subcláusula 9.1, exceto no dimensionamento dos eletrodos de 50 mm (2 polegadas)

²⁾ ASTM D-3426

³⁾ ASTM D-150

Figura 1 – EFEITO DA TEMPERATURA NAS PROPRIEDADES ELÉTRICAS NOMEX® TIPO 410 - 0,25 MM (10 MIL. POLEG.)



Atenção:

Os valores relativos às propriedades constantes destes dados técnicos são típicos ou médios e não devem ser considerados como limites de especificações. Exceto se por outra forma referido, todas as propriedades foram medidas ao ar livre sob condições "standard" (equilíbrio a 23 °C e umidade relativa de 50 %). Nota-se que, à semelhança de outros produtos de mesma tecnologia, os papéis NOMEX® exibem propriedades diferentes no sentido de deslocação na máquina (MD) e no sentido transversal (XD). Em algumas aplicações (por exemplo, isolantes de ranhura em motores), a obtenção do máximo desempenho potencial exige a correta orientação do papel.

As variações de frequência até 10⁴ Hz não exercem qualquer efeito notável na constante dielétrica do papel NOMEMEX® Tipo 410. Os efeitos da temperatura e da frequência no fator de dissipação do papel NOMEMEX® Tipo 410 seco (0,25 mm = 10 mil.poleg.) encontram-se ilustrados na Figura 2. Relativamente aos papéis de espessura inferior, os fatores de dissipação são essencialmente os mesmos que os registrados com papel de 0,25 mm (10 mil.poleg.) à frequência de 60 Hz e a temperaturas até 200 °C (a frequências e temperaturas superiores, os papéis mais espessos exibem fatores de dissipação um pouco mais elevados que os obtidos com papel de 0,25 mm).

A Figura 3 ilustra os valores relativos à Resistividade de Superfície e de Volume em função da temperatura do papel NOMEMEX® Tipo 410 seco de 0,25 mm (10 mil.poleg.). Os valores correspondentes a outras espessuras do mesmo tipo de papel são muito próximos dos aqui ilustrados.

Os valores constantes do Quadro II indicam que a umidade exerce efeitos relativamente fracos na propriedades elétricas do NOMEMEX® Tipo 410 de 0,25 mm (10 mil.poleg.).

Quadro II – EFEITO DA UMIDADE NAS PROPRIEDADES ELÉTRICAS NOMEMEX® TIPO 410 - 0,25 MM (10 MIL. POLEG.)

Umidade relativa (%)	seco em forno	50	96
Rigidez dielétrica ¹⁾			
(V/mil)	850	815	780
(kV/mm)	33.5	32.1	30.7
Constante dielétrica ²⁾			
a 60 Hz	2.5	2.7	3.2
a 1 kHz	2.3	2.6	3.1
Fator de dissipação ²⁾			
a 60 Hz (x 10 ⁻³)	6	6	11
a 1 Hz (x 10 ⁻³)	13	14	25
Resistividade de volume ³⁾ (Ohm.cm)	6x10 ¹⁶	2x10 ¹⁶	2x10 ¹⁴

¹⁾ ASTM D-149 com eletrodos de 50 mm (2 polegadas), elevação rápida; corresponde a IEC 243-1 subcláusula 9.1, exceto no dimensionamento dos eletrodos de 50 mm (2 polegadas)

²⁾ ASTM D-150

³⁾ ASTM D-257

Figura 2 – FATOR DE DISSIPACÃO VS. TEMPERATURA E FREQUÊNCIA NOMEMEX® TIPO 410 – 0.25 MM (10 MIL. POLEG.)

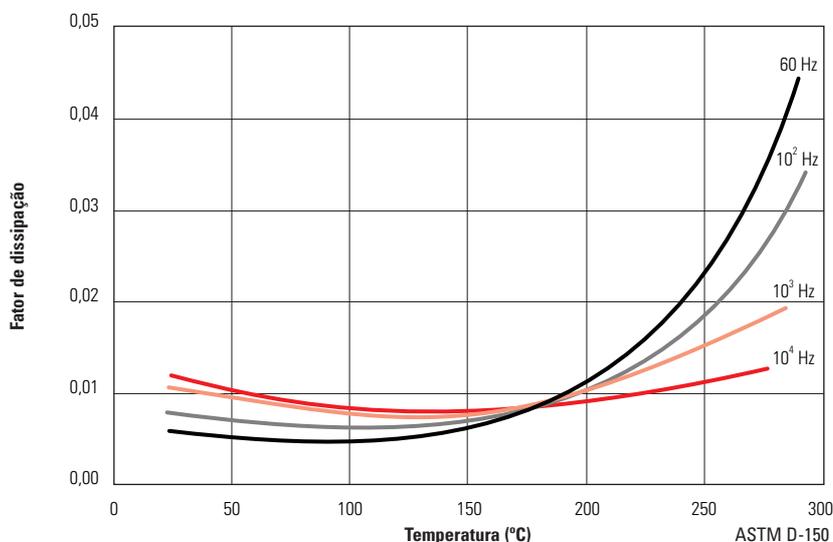
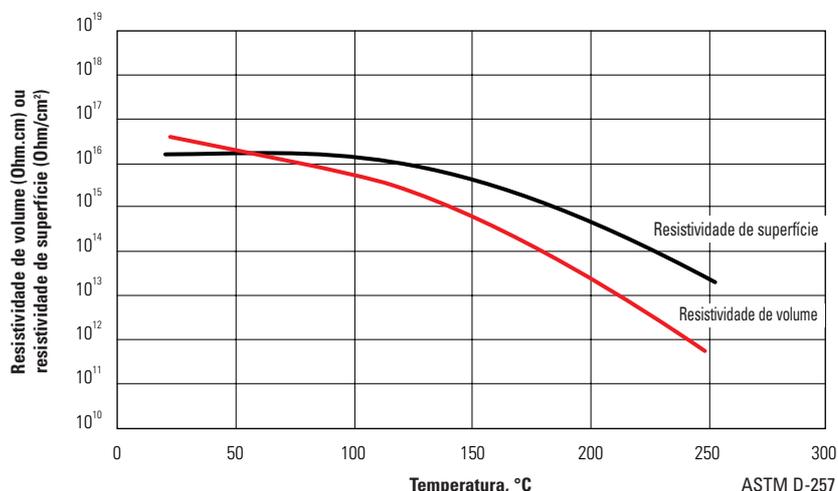
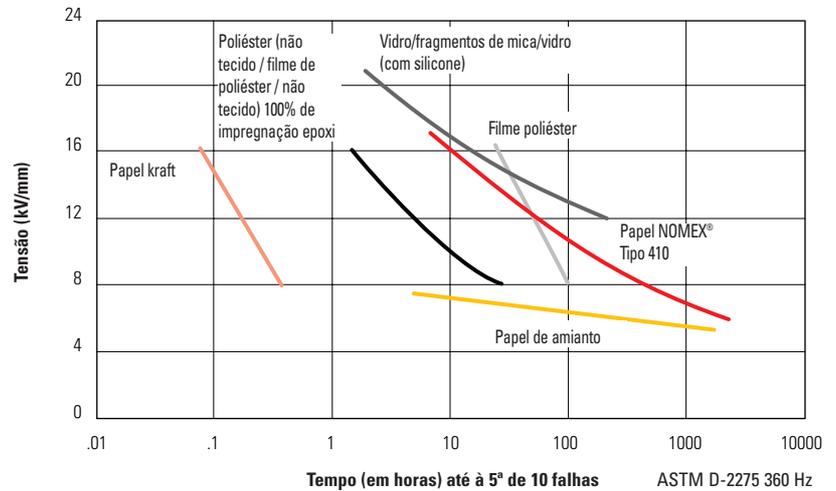


Figura 3 – RESISTIVIDADE VS. TEMPERATURA NOMEMEX® TIPO 410 – 0,25 MM (10 MIL. POLEG.)



À semelhança de outros materiais isolantes orgânicos, o papel NOMEMEX® sofre uma erosão gradual por efeito das descargas parciais, cuja intensidade varia em função da tensão, por seu turno, dependente quase em exclusivo de parâmetros de projeto (espaçamento entre elementos do circuito, perfis suaves ou marcados, etc.) Embora as descargas parciais não ocorram em condições normais de funcionamento de equipamentos elétricos criteriosamente desenhadas, a verdade é que qualquer destes poderá sofrer breves descargas parciais em caso de sobretensões, por conseguinte, é essencial prevenir uma incapacidade prematura dos isolantes face a estas ocorrências. Neste contexto, a resistência de longo prazo (período até à falha motivada por uma descarga parcial) do papel NOMEMEX® Tipo 410 é superior à de outros isolantes orgânicos de utilização generalizada e, conforme ilustrado na Figura 4, equipara-se favoravelmente à de alguns produtos inorgânicos. Todos estes dados foram obtidos com camadas isolantes simples de 0,25 mm (10 mil.poleg.) à temperatura ambiente, à humidade relativa de 50 % e à frequência de 360 Hz (os tempos de falha a 50-60 Hz são aproximadamente 6 a 7 vezes superiores aos ilustrados).

Figura 4 – RESISTÊNCIA À TENSÃO DE DIVERSOS MATERIAIS ISOLANTES NOMEMEX® TIPO 410 – 0,25 MM (10 MIL. POLEG.)



Quadro III – PROPRIEDADES MECÂNICAS TÍPICAS

Espessura nominal	(mil)	2	3	5	7	10	12	15	20	24	25.5	29	30	Método de teste
	(mm)	0.05	0.08	0.13	0.18	0.25	0.30	0.38	0.51	0.61	0.65	0.73	0.76	
Espessura típica ¹⁾	(mil)	2.2	3.1	5.2	7.2	10.2	12.2	15.2	20.3	24.1	25.4	28.7	30.4	ASTM D-374
	(mm)	0.06	0.08	0.13	0.18	0.26	0.31	0.39	0.52	0.61	0.65	0.73	0.77	
Peso base	(g/m ²)	41	63	116	175	249	309	397	547	693	696	854	847	ASTM D-646
Densidade	(g/cm ³)	0.72	0.80	0.87	0.95	0.96	1.00	1.03	1.06	1.13	1.08	1.17	1.10	
Resistência à tração	(N/cm)													
	MD	39	65	137	219	285	378	459	606	741	758	860	841	ASTM D-828
	XD	18	32	66	111	152	196	252	354	497	524	630	595	
Enlongamento (%)	MD	9	11	15	18	19	22	19	20	18	19	16	17	ASTM D-828
	XD	6	8	12	14	15	17	14	16	14	16	12	13	
Ruptura de Elmendorf (N)	MD	0.8	1.2	3.4	3.9	6.0	7.4	9.5	14.2	N/A	N/A	N/A	N/A	TAPPI-414
	XD	1.6	2.3	5.2	7.4	10.8	14.2	17.2	23.7	N/A	N/A	N/A	N/A	
Carga de ruptura inicial ²⁾	MD	11	16	33	50	71	93	116	163	201	209	252	251	ASTM D-1004
	XD	6	8	17	27	42	55	74	113	157	159	199	200	
Encolhimento a 300°C (%)	MD	2.2	1.1	0.9	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	0.0	N/A	0.0	0.2	
	XD	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

¹⁾ Método D: a 17 N/cm²

²⁾ Os dados relativos à Carga de Ruptura Inicial aplicam-se ao sentido da amostra conforme a norma ASTM D-10004, enquanto a ruptura é medida na perpendicular ao sentido da amostra; por conseguinte, os papéis em que o valor mais elevado de Carga de Ruptura Inicial se refere ao sentido de deslocação do papel na máquina são os mais difíceis de romper na transversal.

MD = sentido de deslocação do papel na máquina

XD = sentido transversal do papel

Propriedades mecânicas

Do Quadro III constam os valores típicos relativos às propriedades mecânicas do papel NOMEX® Tipo 410, enquanto a Figura 5 ilustra os efeitos das temperaturas elevadas na resistência à tração e no alongamento. As estruturas em folha NOMEX® também revelam uma excelente capacidade de preservação das propriedades mecânicas quando submetidas a baixas temperaturas. Com efeito, no ponto de ebulição do azoto líquido (menos 196 °C ou 77 K), a resistência à tração do papel NOMEX® Tipo 410 de 0,25 mm (10 mil.poleg.) é superior em 30 % a 60 % (consoante o sentido) ao valor observado à temperatura ambiente, enquanto o alongamento até ao ponto de ruptura é superior a 3% (melhor que a maioria dos materiais inorgânicos à temperatura ambiente). É graças a estas características que o papel NOMEX® proporciona desempenhos de qualidade em aplicações criogénicas.

A água tem um efeito plastificante moderado no papel NOMEX® (ver, na Figura 6, os efeitos da umidade na resistência à tração e no alongamento). À semelhança do alongamento, a carga de ruptura e a robustez do papel NOMEX® Tipo 410 saem reforçadas com o aumento do teor em água.

Quando o papel NOMEX® Tipo 410 seco é exposto a condições de umidade relativa de 95 %, as respectivas dimensões acusam um aumento máximo (por absorção de água) de 1 % no sentido de deslocação do papel na máquina e de 2 % no sentido transversal. Este efeito de dilatação é essencialmente reversível mediante secagem do papel e, naturalmente, a sua expressão depende da espessura e do formato do papel (por exemplo, folhas individuais ou rolos muito apertados). De um modo geral, as alterações dimensionais inferiores induzidas por variações da umidade ambiente são inferiores a 1 %. Contudo, mesmo as ligeiras alterações dimensionais, particularmente quando não uniformes, podem provocar ou acentuar distorções na folha (curvaturas ou pregas), com eventuais reflexos negativos em operações críticas como a laminação ou dobragem. Por conseguinte, o papel NOMEX® destinado a tais aplicações deverá ser mantido selado na sua embalagem de proteção em polietileno, de modo a preservar um grau de umidade uniforme até ao momento da respectiva utilização.

Figura 5 – EFEITO DA TEMPERATURA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS NOMEX® TIPO 410 - 0,25 MM (10 MIL. POLEG.)

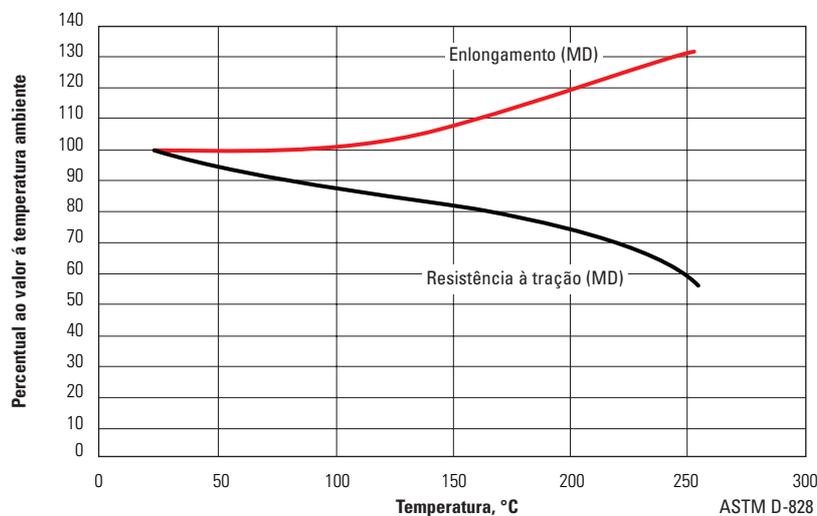
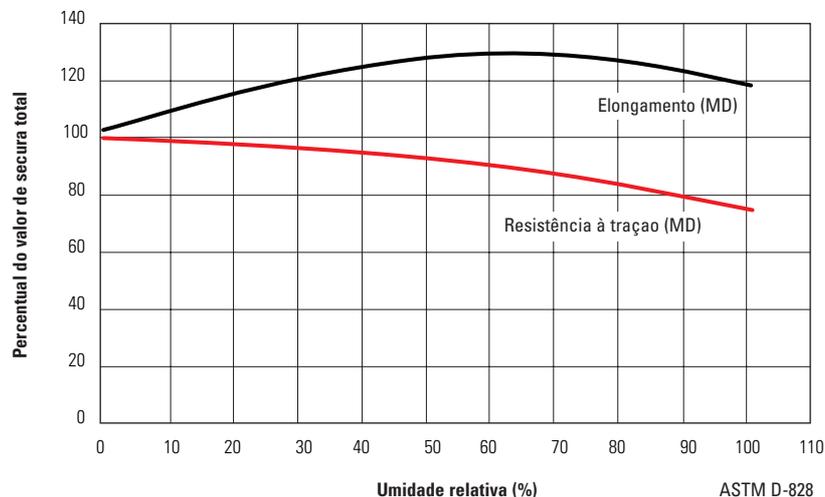


Figura 6 – EFEITO DA UMIDADE NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS NOMEX® TIPO 410 - 0,25 MM (10 MIL. POLEG.)



Propriedades térmicas

As figuras 7, 8 e 9 ilustram os efeitos da exposição de longa duração a temperaturas elevadas sobre algumas das principais propriedades elétricas e mecânicas do NOMEX® Tipo 410 de 0,25 mm (10 mil.poleg.). Estas relações de Arrhenius referentes à evolução de comportamento com o envelhecimento não só justificam o reconhecimento do papel NOMEX® como isolante a 220 °C pela Underwriters Laboratories, pela Marinha dos Estados Unidos e por outras entidades, como são também confirmados por mais de 35 anos de experiência comercial. Verifica-se, ainda, que as curvas podem ser extrapoladas para temperaturas mais elevadas; com efeito, medições efetuadas demonstraram, por exemplo, que o papel NOMEX® Tipo 410 submetido a uma temperatura de 400 °C mantém uma rigidez dielétrica de 12 kV/mm (300 V/mil) durante várias horas, o que confirma as previsões feitas com base na relação de Arrhenius.

Figura 7 – **VIDA ÚTIL VS. TEMPERATURA NOMEX® TIPO 410 - 0,25 MM (10 MIL. POLEG.)**

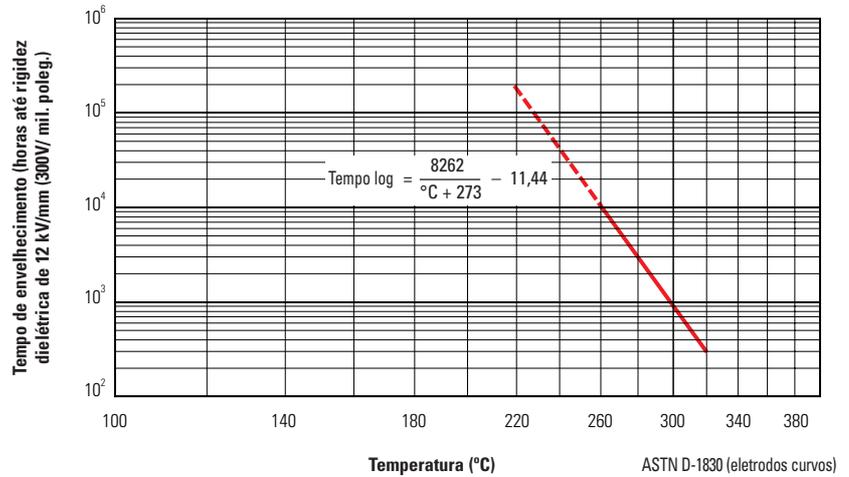
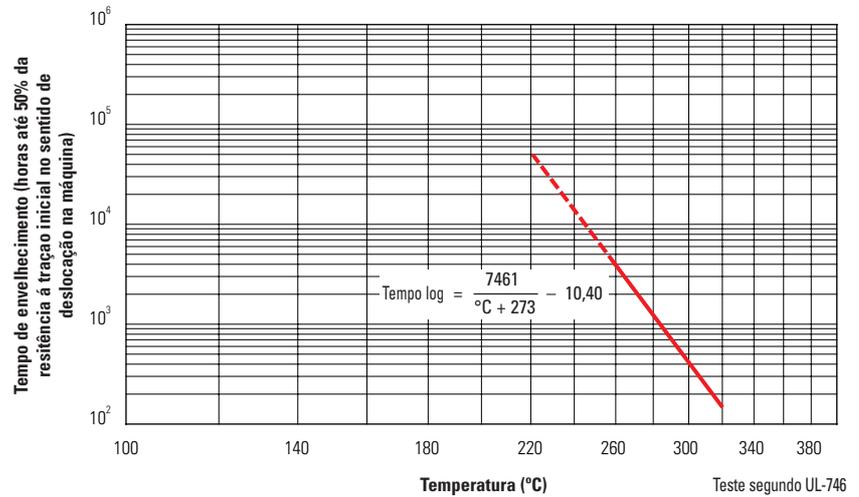


Figura 8 – **VIDA ÚTIL VS. TEMPERATURA NOMEX® TIPO 410 - 0,25 MM (10 MIL. POLEG.)**



A Figura 10 ilustra a condutividade térmica do papel NOMEX® Tipo 410 de 0,25 mm (10 mil.poleg.). Semelhantes aos observáveis em papéis celulósicos, estes valores são (tal como acontece na maioria dos materiais) fundamentalmente determinados pela densidade. Por conseguinte, os papéis NOMEX® Tipo 410 de menor espessura, um pouco menos densos, apresentam uma condutividade ligeiramente menor, enquanto os papéis mais espessos e também mais densos apresentam valores de condutividade térmica mais elevados (ver Quadro IV). Contudo, a concepção geral do equipamento elétrico poderá afetar a condutividade térmica global, pelo que a aplicação de dados técnicos isolados a situações concretas deverá ser objeto de análise criteriosa. Assim, por exemplo, dois isolantes em folha com a mesma condutividade térmica poderão exercer efeitos diferentes em termos de transferência de calor de um enrolamento se exibirem graus diferentes de rigidez mecânica ou de tensão de enrolamento de que resultem diferentes espaçamentos entre as camadas isolantes.

Figura 9 – **VIDA ÚTIL VS. TEMPERATURA NOMEX® TIPO 410 - 0,25 MM (10 MIL. POLEG.)**

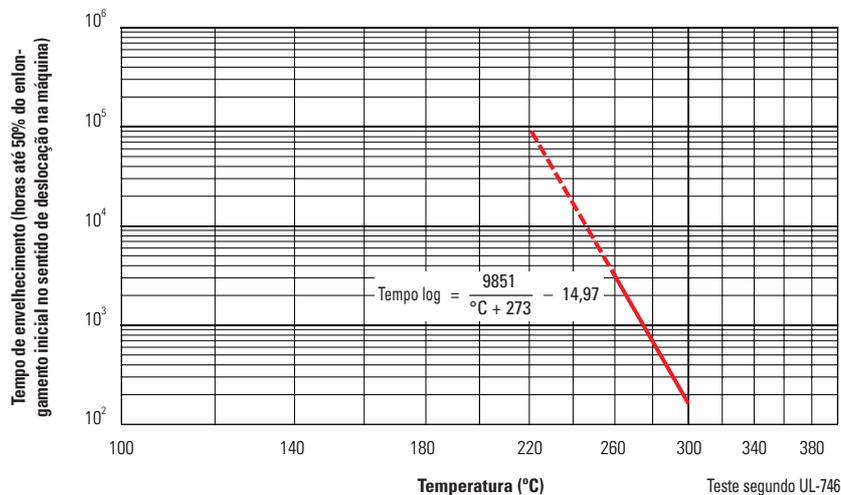
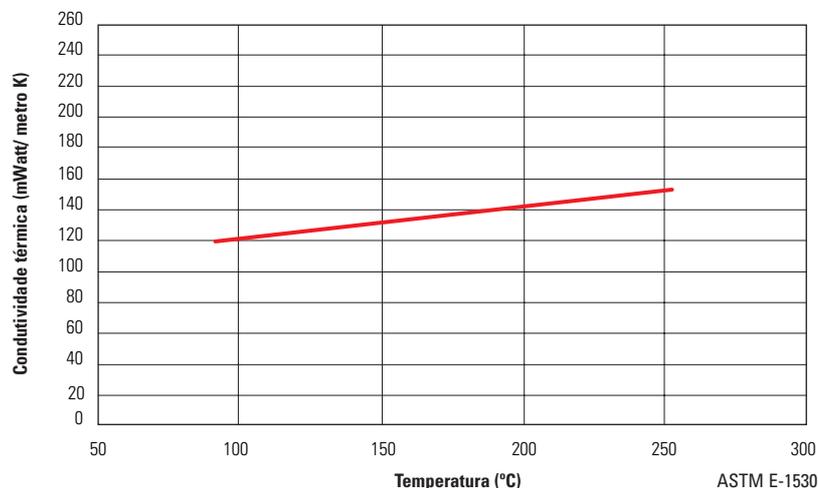


Figura 10 – **CONDUTIVIDADE TÉRMICA VS. TEMPERATURA NOMEX® TIPO 410 - 0,25 MM (10 MIL. POLEG.)**



Quadro IV – **CONDUTIVIDADE TÉRMICA**

Espessura nominal (mil) (mm)	2 0,05	3 0,08	5 0,13	7 0,18	10 0,25	15 0,38	20 0,51	30 0,76
Densidade g/cm³	0,72	0,80	0,87	0,95	0,96	1,03	1,06	1,10
Condutividade térmica ¹⁾ (mWatt/metro K)	103	114	123	143	139	149	157	175

¹⁾ Todos os dados recolhidos a 150 °C

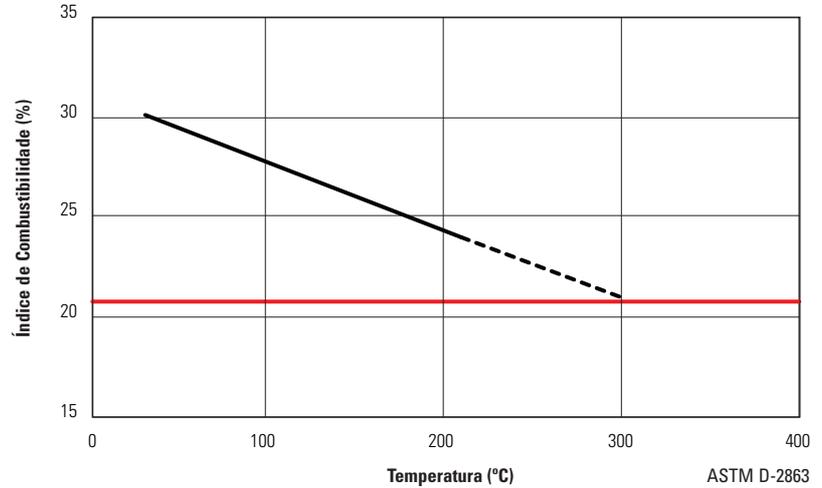
Estabilidade química

Os muitos sistemas equipados com produtos NOMEX® reconhecidos pela Underwriters Laboratories, assim como uma experiência comercial de muito anos, são testemunho da compatibilidade dos papéis e cartões prensados NOMEX® com virtualmente todas as classes de vernizes e adesivos aplicados no domínio da eletricidade (poliamidas, silicones, epoxis, poliésteres, acrílicos, fenólicos, borrachas sintéticas, etc.), assim como outros componentes de equipamentos elétricos. Os papéis NOMEX® são também totalmente compatíveis (e utilizados comercialmente) com fluidos de transformadores (óleos minerais, óleos de silicone e outros fluidos sintéticos) e com óleos lubrificantes e líquidos de refrigeração utilizados em sistemas herméticos. Os solventes industriais comuns (álcoois, cetonas, acetona, tolueno ou xileno) exercem no papel NOMEX® Tipo 410 um reduzido efeito de amaciamento e dilatação semelhante ao observável com a água. Saliente-se que se trata de efeitos essencialmente reversíveis assim que o solvente é eliminado.

O Índice de Combustibilidade (LOI) do papel NOMEX® Tipo 410 oscila entre 27 % e 32 % (consoante a respectiva espessura e densidade) à temperatura ambiente e entre 22 % e 25 % a 220 °C. Recorde-se que materiais com Índices de Combustibilidade superiores a 20,8 % não entram em combustão à temperatura ambiente. Para que o Índice de Combustibilidade do papel NOMEX® Tipo 410 desça abaixo do limiar de inflamabilidade, é necessário que este papel seja exposto a temperaturas entre 240 °C e 350 °C (também consoante a espessura). A Figura 11 ilustra a variação do Índice de Combustibilidade do papel NOMEX® Tipo 410 de 0,13 mm (5 mil.poleg.) em função da temperatura.

Do Quadro V constam os dados relativos aos efeitos de 6.400 megaradas (64 Mgy) de radiação beta 2 MeV nas propriedades mecânicas e elétricas do papel NOMEX® Tipo 410 (em comparação, um laminado de película poliéster e não-tecido de poliéster da mesma espessura impregnado a 100 % com epoxi desagregou-se após a exposição a 800 megaradas ou 8 Mgy). Entretanto, os resultados obtidos após exposição à radiação gama foram equiparáveis. A extraordinária resistência do papel NOMEX® às radiações justifica a respectiva utilização em equipamentos de controle de importância crítica em centrais de nucleares.

Figura 11 – **ÍNDICE DE COMBUSTIBILIDADE (LOI) NOMEX® TIPO 410 – 0,13 MM (5 MIL. POLEG.)**



Quadro V – **RESISTENCIA À RADIAÇÃO (RAIOS BETA) NOMEX® TIPO 410 – 0,25 MM (10 MIL. POLEG.)**

(MGy) Dose		0	1	2	4	8	16	32	64
Resistência à tração ¹⁾ (% do original)	MD	100	96	100	100	94	87	81	65
	XD	100	100	99	99	97	86	81	69
Enlongamento ¹⁾ (% do original)	MD	100	89	92	96	76	60	36	18
	XD	100	92	91	88	82	47	27	16
Rigidez dielétrica ²⁾ (kV/mm)		34	34	33	33	33	34	35	31
Constante dielétrica ³⁾	60 Hz	3.1	3.0	3.0	3.0	3.0	3.1	2.3	2.5
	1 kHz	3.0	3.0	2.9	3.0	2.9	3.1	2.3	2.5
	10 kHz	2.9	2.9	2.9	2.9	2.8	3.0	2.2	2.4
Fator dielétrico ³⁾ (x 10 ⁻³)	60 Hz	8	14	10	12	9	14	7	10
	1 kHz	13	16	15	16	13	16	11	13
	10 kHz	18	21	20	20	19	20	15	17

¹⁾ ASTM D-828

²⁾ ASTM D-149 com um eletrodo de 6,4 mm (1,4 polegadas)

³⁾ ASTM D-150

DuPont NOMEX®
P.O. Box 50
CH-1218 le Grand Saconnex
Genève, Suisse
Tel: ++41 22 717 5111
Fax: ++41 22 717 6218
e-mail:
info.nomex@che.dupont.com

DuPont NOMEX®
ARCO Tower
8-1, Shimomeguro I-chome
Meguro-ku, Tokyo 153
Japon
Tel: ++81 3 5434 6609
Fax: ++81 3 5434 6605

DuPont NOMEX®
1122 New World Office Building
East Wing
24 Salisbury Road
Tsimshatsui
Kowloon
Hong Kong
Tel: ++852 2734 5363
Fax: ++852 2734 5486
e-mail:
SullaS.F.Wang@HKG.dupont.com

DuPont NOMEX®
Customer Inquiry Center
5401 Jefferson Davis Highway
Richmond, VA 23234
Etats-Unis
Tel: ++1 800 453 8527
++1 804 383 4400
Fax: ++1 804 787 7086
++1 804 383 3963
e-mail:
afscdt@usa.dupont.com

DuPont NOMEX®
P.O. Box 2200
Streetsville Postal Station
7070 Mississauga Road
Mississauga, Ontario, L5M 2H3
Canada
Tel: ++1 905 821 5193
Fax: ++1 905 821 5177

DuPont do Brasil SA
Departamento AFS/NOMEX® Paper
Al. Itapecuru, 506
Alphaville
Barueri, SP
CEP 06454-080
Brazil
Tel: ++55 11 7266 8295
Fax: ++55 11 7266 8904
e-mail:
Fabio-Almeida.Oliveira@bra.dupont.com

www.dupont.com/nomex

Mediante pedido nesse sentido, serão fornecidas informações sobre a segurança do produto. Estes dados correspondem aos níveis atuais de conhecimentos nesta área e são apresentados apenas como uma sugestão para as experiências a realizar pelo próprio leitor. Por conseguinte, estes dados não visam substituir quaisquer testes que o leitor possa ter necessidades de realizar com vista a decidir, por si próprio, da adequabilidade dos nossos produtos aos seus objetivos específicos. Estes dados poderão ser objeto de alteração à medida que se encontrem disponíveis novos conhecimentos e resultados de experiências. Uma vez que não podemos antecipar todas as variações das atuais condições de utilização final, a DuPont não oferece quaisquer garantias nem assume quaisquer responsabilidades relativamente a qualquer utilização destes dados. Nada nesta publicação pode ser interpretado como constituindo uma licença de utilização de qualquer patente ou uma recomendação de violação de quaisquer direitos de patente.

L-12287-5 12/00

