

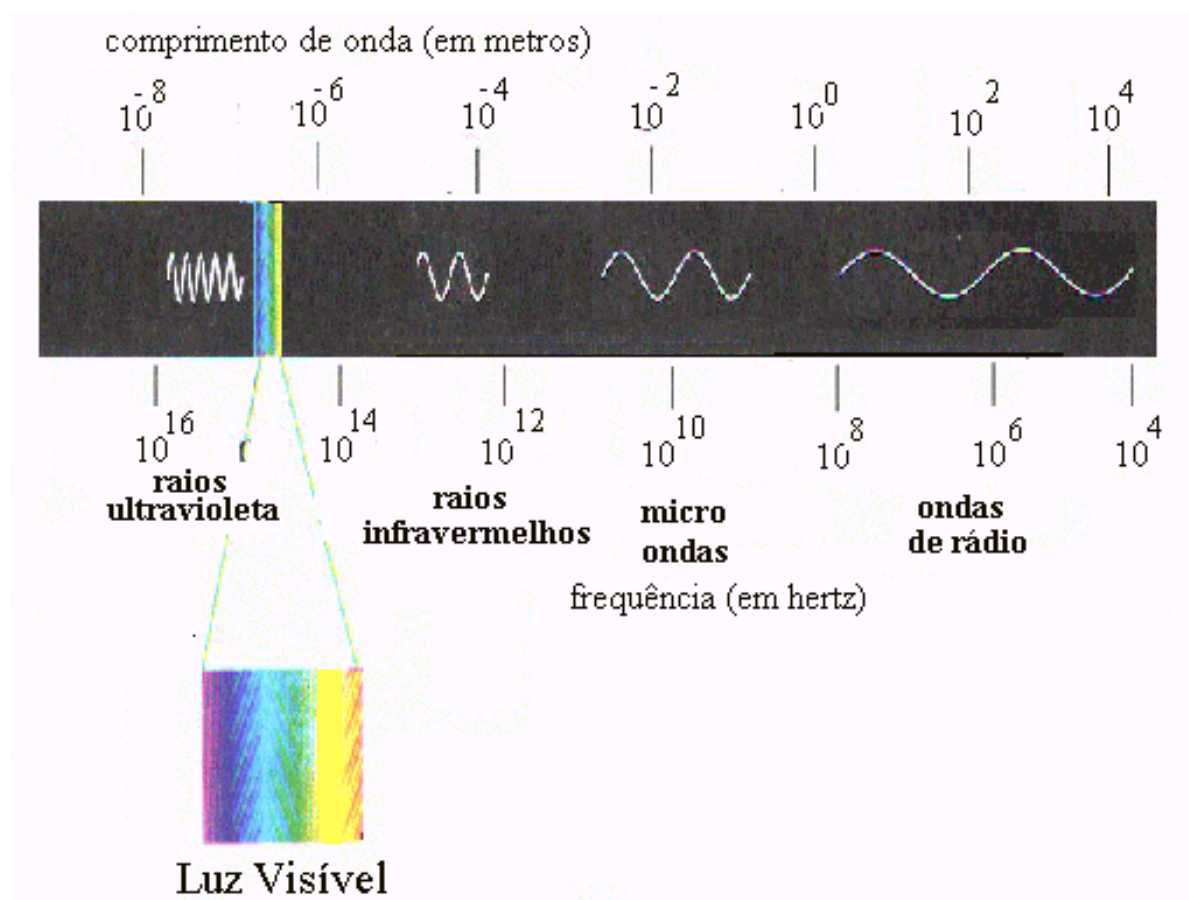
3. Radiações Não Ionizantes

Martin Wells Astete

3.1. Introdução

Na sua forma mais simples, a radiação eletromagnética é um campo elétrico vibratório movimentando-se através do espaço associado a um campo magnético vibratório que tem as características do movimento ondulatório.

O espectro eletromagnético estende-se, na parte não ionizante, numa ampla faixa de comprimentos de onda que vai desde 100 Km até 10 nm, conforme mostra o Gráfico seguinte.



As radiações não ionizantes apresentam interesse do ponto de vista ambiental, porque os seus efeitos sobre a saúde das pessoas são potencialmente importantes, sendo que exposições sem controle podem levar à ocorrência de sérias lesões ou doenças. Por outro lado, há uma proliferação de equipamentos, inclusive de uso doméstico, que emitem radiações, tais como, fornos de microonda, radares para barcos (inclusive de recreação) lasers, inspeção para controle de qualidade, lâmpadas ultravioleta para eliminar germes, etc.

Como mostrado no Gráfico 2, existem diversos tipos de radiações ionizantes, classificados conforme o comprimento de onda e a frequência da radiação. Para melhor compreensão desse Gráfico, a Tabela 2 especifica as unidades e símbolos utilizados.

TABELA 12			
Significado de unidades e símbolos utilizados para medir comprimento de onda e frequência da radiação não ionizante			
Unidades e Símbolos			
Grandeza	Nome	Símbolo	Significado [1 =]
Comprimento de onda	Quilômetro	km	10^3 m = 1.000 m
	Metro	m	1 m = 1 m
	Centímetro	cm	10^{-2} m = 0,01 m
	Milímetro	mm	10^{-3} m = 0,001 m
	Micrômetro	μ m	10^{-6} m = 0,000.001 m
	Nanômetro	nm	10^{-9} m = 0,000.000.001 m
	Picômetro	pm	10^{-12} m = 0,000.000.000.001 m
Frequência	Quilohertz	kHz	10^3 Hz = 1.000 Hz
	Megahertz	MHz	10^6 Hz = 1.000.000 Hz
	Gigahertz	GHz	10^9 Hz = 1.000.000.000 Hz
	Terahertz	THz	10^{12} Hz = 1.000.000.000.000 Hz
	Petahertz	PHz	10^{15} Hz = 1.000.000.000.000.000 Hz

É importante salientar que, com exceção da parte visível do espectro, todas as outras radiações são invisíveis e dificilmente detectáveis pelas pessoas através de meios naturais. No caso dos efeitos térmicos (aquecimento) provocados, se a radiação for perigosa, a sensação de calor pode chegar tarde demais para avisar do risco. Isto obriga ao uso de detectores que determinam a existência e intensidade da radiação e cuja utilização aconselhamos seja feita por especialistas.

Outra característica de interesse é que a radiação pode se transmitir através do vácuo, sem necessidade da existência de ar ou outros meios materiais. Por exemplo, toda a radiação solar que atinge a terra, que pode ser infravermelha, visível, ultravioleta, etc., é transmitida através do vácuo interplanetário.

A seguir, analisam-se do ponto de vista ambiental os diversos tipos de radiações não ionizantes, com exceção das radiações visíveis, que são analisadas separadamente.

3.2. Radiofrequências

Efeitos e ocorrência

As radiações de grandes comprimentos de onda, ou de baixas frequências, do tipo ULF (frequência ultrabaixa), LF (frequência baixa), etc., até as do tipo VHF

(frequência muito alta), **não** apresentam problemas ocupacionais, pelo menos quanto ao que até 1980 se sabia de concreto sobre o tema. Eventualmente, no futuro, poderão ser descobertos efeitos derivados de microaumentos de temperatura, localizados ou generalizados, que a radiação efetivamente pode provocar no organismo, ou de efeitos específicos dos campos elétrico e magnético, pelo qual sempre é recomendável não se expor desnecessariamente em locais onde existem geradores do tipo radiofrequência, especialmente se a potência do equipamento for alta. Como medida acauteladora, recomenda-se sinalizar tais locais.

As radiações de baixas frequências são utilizadas em radionavegação, radiofaróis, radiodifusão AM, radioamadorismo, diatermia médica, radioastronomia, solda de radiofrequência, secagem de tabaco e usos semelhantes.

3.3. Microondas

Efeitos e ocorrência

Os efeitos das microondas dependem da frequência (ou comprimento de onda da radiação) e da potência dos geradores. Porém, ainda existem muitas dúvidas entre os pesquisadores em relação à real extensão que apresentam. O efeito mais estudado é o térmico (aumento da temperatura do organismo), mas que existem indicações de que campos elétricos e magnéticos também são especificamente responsáveis por problemas de saúde nos expostos.

Em relação aos efeitos térmicos, quanto menor a frequência, maior é o risco em órgãos internos, pela facilidade com que as ondas penetram no organismo. Por outro lado, quanto maior a potência e o tempo de exposição, maiores são as possibilidades de os expostos ficarem doentes e, em casos extremos, morrerem. Experiências de laboratórios mostram, por exemplo, que ratos expostos a comprimentos de onda de 12 cm e densidade de potência de 100 mW/cm^2 (mili-watts por m^2) morrem, em média, em 15 minutos.

Em relação aos efeitos dos campos elétrico e magnético, as pesquisas mostram que, a longo prazo, as pessoas expostas podem sofrer de alta pressão no sangue, seguida de hipotensão, alterações do sistema nervoso central, do cárdio-vascular e endócrino, distúrbios menstruais, etc., sintomas que os médicos devem pesquisar nos expostos à radiação, durante os exames de admissão ou periódicos.

Especiais precauções devem ser tomadas para que pessoas portadoras de marcapassos ou implantações metálicas não se exponham à radiação nem sequer por curtos períodos ou a níveis aparentemente baixos.

Em relação à ocorrência destas radiações também denominadas UHF (frequência ultra-alta), SHF (frequência superalta) e EHF (frequência extra-alta), a Tabela 13 mostra vários exemplos de aplicação prática.

Atenção deve ser prestada também a aparelhos em desenvolvimento que utilizam microondas na faixa de 2450 MHz, utilizáveis potencialmente para secagem

de cerâmica e porcelana, conserto de asfalto em estradas, destruição de microorganismos (de madeira, leite, etc.), tratamentos têxteis, secagem de couros, etc..

TABELA 13 – Ocorrência prática de microondas.			
Aplicações	Frequência	Potência dos Aparelhos	Observações
- Aquecimento, secagem, desidratação, esterilização.	2450 a 22125 MHz	De algumas Centenas de Watts a 20 KW	Utilizados principalmente pela indústria alimentícia.
- Radiodifusão FM, televisão, radionavegação, telemetria, radar meteorológico.	300 a 3000MHz	De algumas Centenas de Watts a 50 KW	O risco eventual pode apenas Aparecer ao redor dos geradores ou estações transmissoras.
- Fornos de microondas.	2450	Centenas de Watts	Aplicações domésticas e eventualmente industriais.
- Satélites de comunicação, altímetros, radares militares.	3 a 30 GHz	As potências Podem atingir Milhões de Watts.	Usos militares e sistemas especiais de comunicação.
- Vulcanização de caucho, fibras de poliéster e poliuretano.	2450 MHz	0,5 a 2 KW	Utilização industrial.
- Rádio-astronomia, radar para detecção de nuvens.	30 a 300 GHz	Altas potências Geradoras	Utilizados em pesquisa espacial e semelhante.

Medição de microondas

Em relação à instrumentação para medição, é interessante saber que os aparelhos estão baseados principalmente em quatro métodos.

- a) pressão da radiação numa superfície refletora;
- b) calorimetria;
- c) mudanças de voltagem e resistência nos detectores;
- d) bolometria. O método baseia-se na absorção de potência por um elemento resistivo sensível à temperatura, sendo que a mudança da resistência é proporcional à potência absorvida.

Este último método de medição é o mais utilizado nos aparelhos comercialmente disponíveis.

No caso de o pessoal exposto requerer um sistema de alerta, existe equipamento de bolso ou lapela que emite sinais audíveis, quando as densidades de potência

excedem os valores permissíveis. (Um fornecedor desse equipamento é a General Microwave Corp., 155 Marine Street, Formingdale, N.Y. 11735).

A maioria dos equipamentos utilizados para medir microondas está calibrado para ondas planas (campo afastado da fonte) e as leituras são dadas em unidades de densidade de potência, normalmente miliwatts/cm² (mW/cm²).

Para se ter um valor aproximado de densidade de potência nas cercarias (campo próximo) de uma antena circular de abertura grande, pode-se utilizar a seguinte relação:

$$W = 16.P/\pi.D^2 = 4.P/A$$

onde:

P = potência média de saída

D = diâmetro da antena

A = superfície da antena

W = densidade máxima de potência no eixo do feixe de microonda.

Se os valores obtidos excedem os limites de tolerância de segurança, as densidades de potência podem ser estimadas através da equação (3.2), válida para campos afastados.

$$W = G.P/4.\pi.r^2 = A.P/\lambda^2.r^2$$

Onde:

G = ganho da antena no campo afastado

λ = comprimento da onda

r = distância desde a antena ao ponto considerado

W, P e A têm o mesmo significado da equação (3.1)

A distância desde a antena, a partir da qual o campo pode ser considerado afastado, é dada pela equação (3.3).

$$r_a = \pi.D^2/8.\lambda = A/2.\lambda$$

Onde:

r_a = distância desde a antena à intersecção dos campos próximo e afastado.

D, λ e A têm o mesmo significado das equações anteriores.

As equações acima são aproximações, porque não levam em consideração as reflexões nas estruturas ou superfícies próximas, sendo que se estas existirem em grande quantidade, os valores de densidade de potência podem ser várias vezes maiores (3 a 4 vezes) que os calculados. Também deve-se ter em consideração que os

riscos são avaliados com potências médias, pois os picos de potência podem ser muito maiores que os valores médios considerados.

Valores de tolerância de exposição

A seguir, especificam-se os valores normalmente aceitos, do ponto de vista técnico, dos limites de tolerância recomendados pela Conferência Americana de Higienistas Industriais do Governo (ACGIH), válidos apenas para pessoal autorizado a trabalhar com microondas e com controle médico periódico. Observe-se especialmente que no caso de sobrecarga térmica, deveriam ser reduzidos os valores fornecidos abaixo, pelo que recomendamos que a aplicação para casos específicos seja feita unicamente por profissionais treinados na prática de higiene industrial.

Limites de tolerância para microondas conforme recomendação da ACGIH para 1977.78

“Estes limites de tolerância referem-se à energia de microondas na faixa de frequência de 300 MHz a 300 GHz e representam as condições sob as quais **acredita-se** que a maioria dos trabalhadores possa estar repetidamente exposta, sem sofrer efeitos adversos.”

Sob condições de moderada a severa sobrecarga térmica pode ser necessária uma redução dos valores recomendados (*).

Assim, estes valores devem ser usados como guia no controle da exposição à energia de microondas e não devem ser considerados como linha rígida separatória entre níveis seguros e perigosos.

“Valores recomendados”

“O limite de tolerância para exposição ocupacional a microondas, onde a densidade de potência ou intensidade do campo é conhecida e o tempo de exposição é controlado, é o seguinte:

1. Para exposição a fontes de onda contínua (O.C.) o nível de densidade de potência não deverá exceder 10 mili-watts por centímetro quadrado (mW/cm^2) para exposições contínuas, e a duração total da exposição será limitada a 8 horas diárias. Esta densidade de potência é aproximadamente equivalente a um campo elétrico livre de intensidade de 200 volts por metro rms (V/m) e um campo livre magnético de intensidade de 0,5 ampères por metro rms (A/m).

2. São permitidas exposições a fontes de O.C. de níveis de densidade de potência maior que $10 \text{ mW}/\text{cm}^2$ até o máximo de $25 \text{ mW}/\text{cm}^2$, baseados numa densidade média de 1 miliwatt-hora por centímetro quadrado (mWh/cm^2), média calculada para qualquer período de 0,1 hora. Por exemplo, a $25 \text{ mWh}/\text{cm}^2$, a duração permitível da exposição é de aproximadamente 2,4 minutos em qualquer período de 0,1 hora.

(*) Mumford, W.W., “Heat stress due to R.F., Radiation”, Proceedings of IEEE, vol. 57, n° 2, Fev. 1969, pp. 171-178.

3. Para fontes pulsáteis repetitivas de microondas, a intensidade média do campo ou a intensidade de potência é calculada multiplicando-se o valor do pulso-pico pelo ciclo de funcionamento. O ciclo de funcionamento é igual à duração da pulsação em segundos, multiplicada pela taxa de repetição da pulsação em Hertz. Exposições de 8 horas de trabalho não devem exceder os seguintes valores, que são calculados em média para qualquer período de 0,1 hora:

Densidade de potência	10 mW/cm ²
Densidade de energia	1 mWh/cm ²
Média quadrática da intensidade do campo elétrico	40.000 V ² /m ²
Média quadrática da intensidade do campo magnético	0,25 A ² /m ²

4. Não é permitida a exposição a O.C. ou campos pulsáteis repetitivos com uma densidade média de potência superior a 25 mW/cm², ou intensidade equivalente de campo livre superior a 300 V/m ou 0,75 A/m.

Na legislação nacional, não se especificam valores máximos permissíveis para microondas, mas no Anexo n.º 7 da Norma Regulamentadora NR-15 da Portaria n.º 3214 de 08 de junho de 1978, artigo 2, determina-se: “As operações ou atividades que exponham os trabalhadores às radiações não ionizantes, sem a proteção adequada, serão consideradas insalubres, em decorrência de laudo de inspeção realizado no local de trabalho.”

O laudo de inspeção poder-se-ia orientar pelas recomendações de AICGH para ter um fundamento técnico, desde que sejam levados em consideração os tempos reais de exposição e as condições técnicas da operação. Evidentemente, do ponto de vista prevencionista, no caso de se encontrarem valores acima dos apropriados para as condições de trabalho, a atitude deve ser a eliminação da exposição ou a redução a níveis compatíveis com a vida e a saúde dos trabalhadores, vistos os graves riscos que apresenta uma exposição não controlada.

Avaliação das microondas

A detecção, medição dos valores encontrados no ambiente e sua comparação com os valores dos limites de tolerância constituem o processo de avaliação do risco.

No caso das microondas, não existe ainda um sistema padrão para avaliação, sendo que os métodos se aplicam de forma específica às diversas situações encontradas. Portanto, recomenda-se solicitar a participação de especialistas para não cometer erros originados em problemas técnicos.

Medidas para o controle de microondas

Normalmente os equipamentos geradores incluem métodos de controle desenhados pelos próprios fabricantes, que incluem enclausuramento completos, com

vedações automáticas em caso de abertura, (por ex. fornos de microondas), até o controle das posições de antenas de radar.

Em relação a eles, cabe ao profissional de Segurança zelar para que o esquema de manutenção evite a deterioração dos meios de controle, assim como implementar em conjunto com o pessoal operativo, sistemas de verificação periódica e confirmar o seu funcionamento adequado e confiável.

No caso dos fornos de microondas domésticos, o maior risco é a eliminação de vedações eletromagnéticas ou seu funcionamento inadequado, de maneira que o circuito não desligue antes que a porta abra ou ao ponto de ocorrer uma faísca, que além do seu próprio risco, pode provocar deterioração do metal e eventualmente vazamentos sérios. Depósitos de alimentos, em especial gorduras ou óleos, podem agravar a situação.

Equipamento de tipo doméstico deve ser vistoriado periodicamente para assegurar que não há vazamentos. Quando as densidades de potência atingem 1 (um) mW/cm^2 ou mais, não deve ser permitido o uso do aparelho.

Outro tipo de medida de controle refere-se ao uso de barreiras que devem ser especificadas em função da frequência ou comprimento de onda da radiação. Estas barreiras podem ser desde blocos de concreto até grelhas de fios metálicos, e devem ser desenhadas por especialistas.

O uso de equipamento de proteção individual é muito limitado, porque o controle na fonte ou trajetória da radiação é prioritário e mais confiável. Porém, se for imperativo entrar-se num recinto onde a densidade de potência for superior aos valores aceitos, existem óculos específicos para microondas, grelhas metálicas e roupas protetoras, utilizáveis em emergências.

O pessoal com autorização para entrar nas áreas de risco deve ser limitado ao mínimo indispensável, sendo que os autorizados devem ter controles médicos específicos periodicamente e cada vez que exista suspeita de ter recebido uma alta dose.

Como complemento, é conveniente sinalizar a área de risco, para o que sugere-se utilizar os sinais recomendados pelo comitê C95.2 da ANSI (AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE).

Riscos adicionais das microondas

Além dos riscos diretos, as microondas podem provocar efeitos importantes.

Os feixes de radar, por exemplo, podem inflamar material combustível devido ao calor induzido em aço ou outros metais. Também são altamente sensíveis às lâmpadas tipo “flash” fotográfico.

Quando a densidade de potência é alta, também existe o risco da radiação alterar o funcionamento de microprocessadores, circuitos integrados, comandos numéricos, etc., o que pode levar ao mau funcionamento do equipamento que utiliza estes dispositivos, com as conseqüências de perdas ou incidentes na operação.

Nos casos de dúvida, recomenda-se consultar os especialistas.

3.4. Radiações infravermelhas

Efeitos e ocorrência

A radiação infravermelha é emitida por corpos cuja superfície encontra-se à temperatura maior que a do ambiente ao redor deles. Este tipo de radiação é também chamado de calor radiante.

O principal efeito conhecido sobre as pessoas é o térmico, podendo provocar entre outras conseqüências, queimaduras na pele (especialmente quando os comprimentos de onda são inferiores a 1,5 micrômetros), cataratas e em casos extremos, lesões à retina.

A exposição ao setor infravermelho do espectro pode ocorrer em muitas situações industriais e domésticas.

Algumas das situações domésticas são:

- aquecimento direto de ambientes frios;
- exposição prolongada à irradiação solar sem proteção.

É freqüente encontrar a radiação infravermelha aliada a outras formas de transmissão de calor, razão pela qual o problema “calor radiante” é analisado com mais detalhe no capítulo referente a “TEMPERATURAS EXTREMAS”, especialmente no referente a valores de limites e tolerância, sistema de avaliação do problema e medidas de controle recomendáveis.

Algumas das situações industriais mais típicas são:

- operação de fornos metalúrgicos e siderúrgicos;
- fabricação e transformação do vidro;
- forja e operações com metais quentes;
- secagem e cozedura de tintas, vernizes e recobrimentos protetores;
- desidratação de material têxtil, papel, couro, alimentos;
- solda elétrica.

Valores toleráveis de exposição

Os valores dos limites de tolerância são estabelecidos em conjunto para o problema “calor”, que é tratado separadamente. Porém, é interessante destacar aqui que se encontram em fase de estudo e aprovação valores limites específicos para o setor do espectro denominado de “infravermelho próximo”, que corresponde à faixa mais próxima à da radiação visível. A seguir especificam-se os valores propostos pela ACGIH em 1978.

Proposta de limite de tolerância para infravermelho próximo ($1400 \text{ nm} > \lambda > 770 \text{ nm}$).

“Para evitar possíveis efeitos retardados sobre o cristalino dos olhos (cataractogênese), a radiação infravermelha ($\lambda > 770 \text{ nm}$) deve ser limitada a 10 mWxcm^2 .

Para uma lâmpada de calor infravermelho ou qualquer fonte de infravermelho próxima, estando ausentes estímulos visuais intensos, a radiância (L) incidente sobre os olhos deve ser limitada a:

$$\sum L_{\lambda} \Delta \lambda = 0,6 / \lambda$$

para condições prolongadas de incidência.

Onde: $\Delta \lambda$ = largura da faixa sobre a que E é medida

α = abertura angular da fonte em radianos

L = radiância (Wcm . 5)

Este limite é baseado em pupilas de 7 mm de diâmetro.”

3.5. Radiações ultravioletas

Efeitos e ocorrências

A radiação ultravioleta estende-se aproximadamente entre os valores de 400 nm e 10 nm no espectro eletromagnético e seus efeitos variam rapidamente na medida em que muda o setor do espectro.

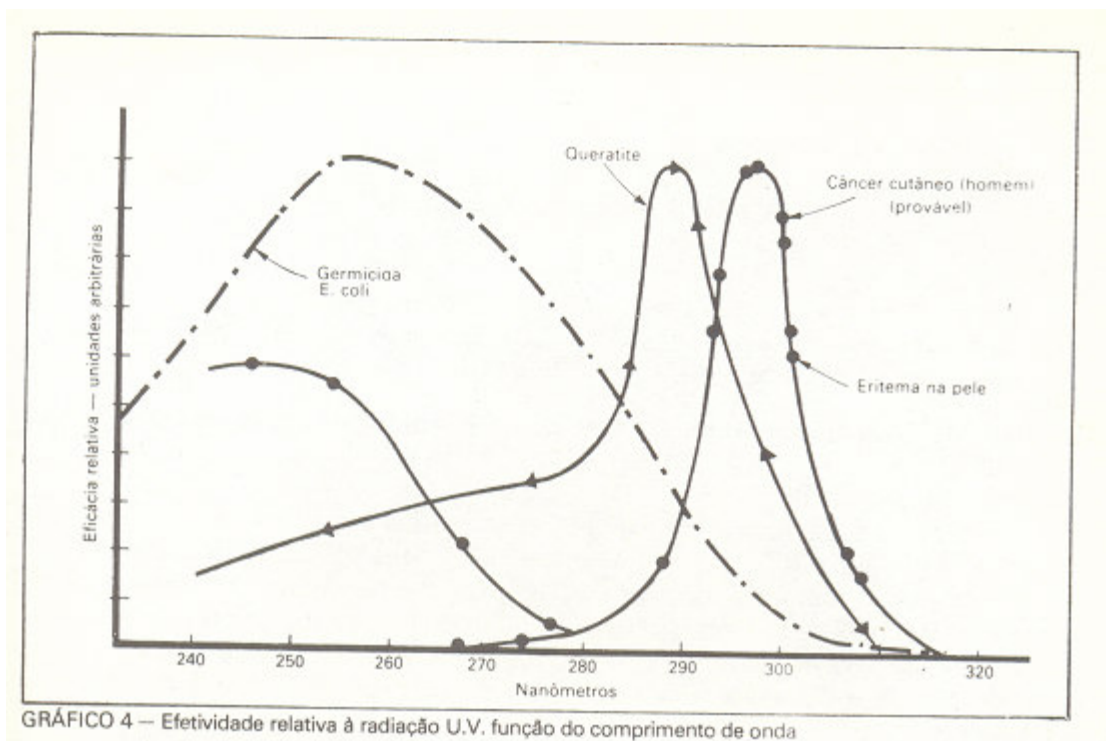
O gráfico abaixo mostra esta porção do espectro com uma classificação interessante do ponto de vista da Higiene do Trabalho.

Comprimento de onda	400 nm	350	300	250	200	150	100	50 nm
Radiação Visível	Luz negra	Eritemática	Germicida	Ozona	Ação sobre Ligações Moleculares			Radiação ionizante
As divisões entre faixas do espectro devem ser consideradas como aproximações								

Gráfico 3 – Espectro ultravioleta

A luz negra é utilizada em controle de qualidade industrial, iluminação de diais fosforescentes públicos (discotecas e semelhantes), gravação fotográfica, etc.. Uma pequena porcentagem da irradiação solar que atinge a Terra também encontra-se na faixa da luz negra e acredita-se que é responsável pelos processos de fotossíntese de alguns vegetais. Do ponto de vista de efeitos sobre as pessoas, esta faixa é considerada *sem* riscos sérios, suspeitando-se apenas de possíveis interferências com a acuidade visual a produção de fadiga ocular.

Já as outras faixas do espectro U.V. apresentam riscos maiores, que podem ser observados no Gráfico abaixo.



- Riscos apresentados pela radiação U.V. para diferentes faixas de comprimento de onda.

Adaptado de “The industrial environment – its evaluation and control”, U.S. Dpt. of HEW, NIOSH – 1973.

Pode-se observar que as faixas denominadas eritemáticas (eritema – queimadura) e germicida são as que apresentam maiores riscos potenciais. Estas faixas são emitidas em operações com solda elétrica, metais em fusão, maçaricos, operando a altas temperaturas, lâmpadas germicidas, etc., e também estão contidas na irradiação solar.

Entre os efeitos possíveis destacamos os de conjuntivite (que se manifesta horas depois da exposição), relativamente freqüente, quando os processos de solda não têm as adequadas medidas de controle e o câncer de pele, encontrado em trabalhadores repetidamente expostos durante muitos anos à irradiação solar.

Medida da U.V.

Os equipamentos utilizados na medição de ultravioleta podem ser do tipo célula fotoelétrica, célula fotocondutiva, célula fotovoltaica ou detetor fotoquímico. Destes, os de uso mais freqüentes são os de célula fotovoltaica e os chamados de “termopilhas”. Os aparelhos podem ser obtidos de empresas especializadas em instrumentação ou junto a representantes de equipamentos que geram U.V. que normalmente possuem os detetores (ex. fabricantes de lâmpadas U.V.).

Em relação com as medições, deve-se tomar cuidado com substâncias no ar (como ozona ou vapor de mercúrio) que absorvem a radiação, ou materiais como vidros ou plásticos, que também interferem em forma apreciável na transmissão da U.V..

Valores toleráveis de exposição

A seguir especificam-se os valores dos limites de tolerância da ACGIH, válidos para pessoas relacionadas com a exposição que são periodicamente controladas por médicos.

Salientamos aqui, mais uma vez, que o conhecimento dos valores toleráveis é importante para os profissionais de segurança, mas a aplicação para casos específicos deve ser feita por pessoal com treinamento, conhecimento especializados e prática no campo da Higiene Industrial.

Limites de tolerância para radiação U.V. conforme recomendação da ACGIH para 1977-78.

Radiação ultravioleta (*)

Estes limites de tolerância se referem à radiação ultravioleta na região espectral entre 200 e 400 nm e representam condições sob as quais, acredita-se, a maioria dos trabalhadores possa estar exposta repetidamente sem sofrer efeitos adversos. Estes valores para exposição dos olhos ou da pele se aplicam para radiação ultravioleta originada de descarga de arcos, gás e vapor, fontes incandescentes e fluorescentes e radiação solar, mas não se aplicam a laser ultravioleta (*).

Estes níveis não devem ser utilizados na determinação da exposição de indivíduos fotossensíveis à radiação ultravioleta, ou que concomitantemente estejam expostos a agentes fotossensibilizadores (Fitzpatrick, et al., eds., Sunlight and Man, Univ. de Tokio, Japão, 1974).

Estes valores devem ser utilizados como orientação no controle da exposição de fontes contínuas onde a duração da exposição não deverá ser menor que 0,1 segundo.

Estes valores devem ser usados como orientação no controle da exposição a fontes de ultravioleta e não devem ser considerados como linha separatória definitiva entre níveis seguros e perigosos.

“Valores Recomendados”

“O valor do limite de tolerância para exposição ocupacional à radiação ultravioleta incidente sobre os olhos ou pele, onde os valores de irradiação são conhecidos e o tempo de exposição é controlado, é o seguinte:

1. Para a região do espectro ultravioleta próximo (320 a 400 nm), a irradiação total incidente sobre os olhos ou pele desprotegidos não deve exceder 1 mw/cm^2 para períodos maiores que 10^3 segundos (aproximadamente 16 minutos), e para tempo de exposição menor que 10^3 segundos não deve exceder 1 J/cm^2 .

2. Para a região do espectro da ultravioleta actínico (200-315 nm), e exposição à radiação incidente sobre os olhos ou pele desprotegidos não deverá exceder os valores dados na Tabela 14, durante um período de 8 horas.”

3. Para determinar a irradiação efetiva de uma fonte, de bandas largas ponderadas em relação ao pico da curva de efetividade espectral (270 nm), deverá ser utilizada a seguinte fórmula de ponderação:

$$E_{ef} = \sum E_{\lambda} S_{\lambda} \Delta\lambda$$

(*) Veja L.T. para lasers.

Onde:

E_{ef} = irradiação efetiva relativa para uma fonte monocromática a 270 nm, em W/cm^2 ($J/S/cm^2$)

E_{λ} = irradiação espectral em $W/cm^2/nm$

S = efetividade relativa espectral (adimensional)

$\Delta\lambda$ = largura da faixa em nanômetros

TABELA 14		
Eficiência relativa espectral por comprimento de onda		
Comprimento de onda (nm)	L.T. (mJ/cm ²)*	Efetividade Relativa Espectral S_{λ}
200	100	0,03
210	40	0,075
220	25	0,12
230	16	0,19
240	10	0,30
250	7,0	0,43
254	6,0	0,5
260	4,6	0,65
270	3,0	1,0
280	3,4	0,88
290	4,7	0,64
300	10	0,30
305	50	0,06
310	200	0,015
315	1000	0,003

(*) $1 \text{ mJ/cm}^2 = 10^{-3} \text{ J/cm}^2$

4. O tempo de exposição permissível em segundos para exposição à radiação ultravioleta actínica, incidente sobre a pele ou olhos desprotegidos, pode ser computado dividindo-se $0,003 \text{ J/cm}^2$ por E_{ef} em W/cm^2 . O tempo de exposição

também pode ser determinado utilizando-se a Tabela a seguir, a qual relaciona os tempos de exposição e as irradiações efetivas em $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

Todos os L.T. anteriores para energia ultravioleta se aplicam a fontes que subentendem um ângulo menor que 80° . Fontes que subentendem um ângulo maior, devem ser medidas apenas sobre o ângulo de 80° .

Indivíduos condicionados (cuja pele já esteja “queimada”) podem tolerar exposição sobre a pelo superior ao L.T. – sem efeitos eritêmicos. No entanto, estas condições podem não proteger as pessoas de um câncer de pele.

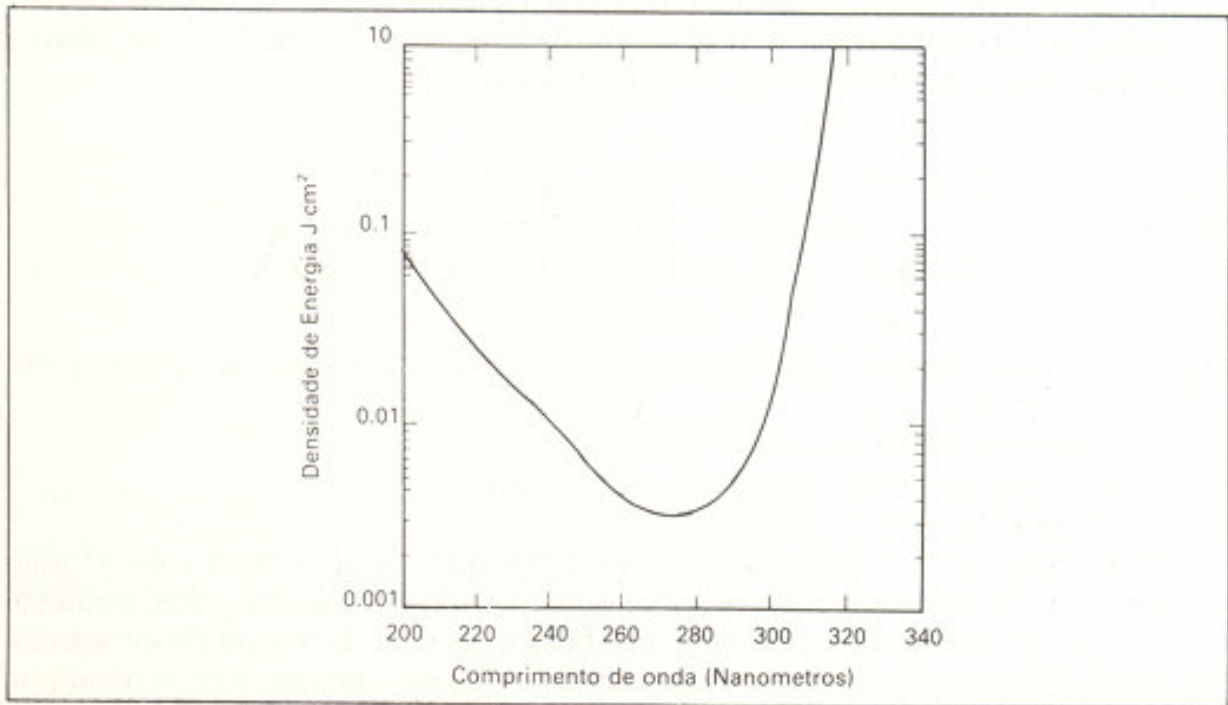


FIGURA 24 – Limites de tolerância para radiação ultravioleta.

Na legislação nacional, não se especificam valores máximos permissíveis para radiação ultravioleta, mas no Anexo n° 7 da Norma Regulamentadora NR-15 da Portaria n° 3214 de 06 de Julho de 1978, determina-se:

“1. Para os efeitos desta norma, são radiações não ionizantes as microondas, ultravioleta e laser.

2. As operações ou atividade que exponham os trabalhadores “as radiações não ionizantes, sem a proteção adequada, serão consideradas insalubres, em decorrência de laudo de inspeção realizada no local de trabalho.

3. As atividades ou operações que exponham os trabalhadores às radiações da luz negra (ultravioleta na faixa 400-320 nanômetros), não serão consideradas insalubres.”.

TABELA 15	
Exposições permissíveis a ultravioleta	
Duração da Exposição Diária	Irradiação Efetiva Eef ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)*
08 h	0,1
04 h	0,2
02 h	0,4
01 h	0,8
30 min	1,7
15 min	3,3
10 min	5
5 min	10
1 min	50
30 seg	100
10 seg	300
1 seg	3000
0,5 seg	6000
0,1 seg	30000
(*) $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2 = 10^{-6} \text{ W}/\text{cm}^2$	

Medidas para o controle da radiação U.V.

A radiação com comprimento de onda inferior a 200 nm é fortemente absorvida pelo ar, e conseqüentemente as faixas U.V. que se aproximam da radiação ionizante apresentam riscos desprezíveis, com exceção de lasers que operam nessa faixa, e dos quais falaremos mais adiante.

Para radiação de mais de 200 nm, nas faixas eritemática e germicida, deve-se usar barreiras que podem ser construídas de materiais simples como chapas metálicas, cortinas opacas, etc., ou materiais transparentes ou semi-transparentes à luz, que eliminam frações importantes da radiação.

Para aqueles diretamente expostos é indispensável o uso de protetores oculares e faciais, e conforme as condições, também é necessário proteger as mãos, braços, tórax, etc., com materiais que refletem ou absorvem o U.V., para evitar doenças de pele.

No caso de solda elétrica, a irradiação é especialmente intensa, quando se utilizam eletrodos não revestidos, que requerem o uso de gases inertes (ex. solda MIG). Também devem ser levados em consideração os seguintes fatores:

- quanto maior é a amperagem da solda, maior é a produção do U.V.. Em relação a este ponto, recomenda-se as seguintes sombras para óculos ou vidro de máscaras, em função de amperagem utilizada:

Faixa da intensidade de corrente (Âmperes)	Sombra N.º
5 – 75	9
75 – 200	10 – 11
200 – 400	12 – 13
Acima de 400	14

É necessário também que os soldadores utilizem por baixo da máscara óculos com sombra 2, para evitar os problemas decorrentes da exposição vinda de outros soldadores.

- quanto mais “limpo” está o ar, maior é a irradiação que pode atingir as pessoas. Uma exaustão local em pontos de solda provoca essa situação de ar limpo que é obviamente desejável do ponto de vista do controle de agentes químicos) e, em consequência, maiores cuidados devem ser tomados em relação ao enclausuramento da radiação e proteção do pessoal;
- outras condições que influem na quantidade da U.V. produzida são a velocidade da solda e o tipo de eletrodos utilizados.

Ainda com relação a solda elétrica, deve ser lembrado que, além dos protetores oculares e faciais de praxe para soldadores e pessoal ao redor deles, é necessário proteger toda a pele não deixando descoberta sob ação da U.V.. A mesma recomendação é válida para trabalho em locais com lâmpadas germicidas, com metais em fusão a altas temperaturas e em geral onde esteja sendo gerada U.V. com comprimento de onda na faixa de 320 nm a 200 nm.

3.3.6. Radiador laser – aspectos gerais

A radiação laser é a radiação não ionizante, com a característica específica de emitir apenas com um (1) comprimento de onda, e não com uma faixa de comprimentos ou frequências, como acontece com outros tipos anteriormente descritos – característica pela qual a radiação laser é chamada de **radiação coerente**.

Isto faz com que a radiação seja altamente concentrada, com dispersão insignificante, e emitida praticamente em apenas uma só direção.

Laser significa “amplificação de luz mediante emissão estimulada de radiação”, e pode ser construída em função do “material laser”, para emitir na faixa infravermelha, visível ou ultravioleta.

Para se obter atividade laser, deve ser alterada a estrutura atômica pela ação de energia externa, que, mediante aquecimento, descarga elétrica ou radiação eletromagnética, fornece “fótons” (unidade ou pacotes energéticos).

Um laser é composto de três elementos principais:

1. um meio óticamente ativo, formado por um sistema atômico que tem dois níveis energéticos possíveis, separados por uma diferença de energia equivalente ao comprimento de onda a ser produzida;

2. um sistema para excitar elétrons, (sistema chamado de bombeamento) que normalmente estão no nível inferior de energia, para serem levados ao nível superior;

3. uma cavidade ótica que permite determinar o tipo de frentes de onda que serão produzidas mediante a amplificação fotônica.

O meio óticamente ativo tem em seus extremos superfícies espelhadas, uma das quais é totalmente refletiva e outra parcialmente refletiva. Quando a amplitude da frente de onda alcança um nível suficiente de energia, é emitido um pulso laser através do espelho parcial.

A emissão também pode ser contínua se, mediante o sistema de bombeamento, se mantém a excitação eletrônica.

Os lasers pulsáteis podem emitir pulsos de duração muito curta. Se o pulso dura 1 nano seg (0,000000001 seg) e 1 micro seg (0,000001 seg), com potências máximas possíveis extremamente altas (500000000 de watts e mais), o laser é chamado “Q-ligado”. Se o pulso dura entre 1 micro Seg e 0,1 Seg é chamado “não Q-ligado”. Se os pulsos são maiores de 1 Seg. considera-se que o laser é de onda contínua.

Existem três tipos de laser, classificados segundo o meio óticamente ativo de estado sólido, de estado gasoso e o semiconductor ou injetor.

Apesar da industrialização recente (a partir dos anos 60), existem muitas aplicações não industriais, entre as quais destacamos: levantamentos topográficos, operações de dragagem, construção de pontes, etc., feitas na maior parte das vezes ao ar livre. Na medicina, pode ser utilizado em microcirurgias, destruição de tumores, queimadura de verruga, etc.. na indústria, é utilizado em microusinagem, solda de micropeças, alinhamento ótico, fotocoagulação, etc..

Num futuro próximo, novas aplicações, nos mais diversos campos, devem ser esperadas, devido, principalmente, à simplicidade dos elementos constituintes e à existência de muitas aplicações industriais em desenvolvimento.

Efeitos, limites de tolerância e avaliação da radiação laser

A radiação laser, direta ou refletida, pode afetar os olhos e a pele, especialmente os primeiros, ainda que a potência seja baixa.

Devido ao risco, que é muito alto, e à variedade de lasers existentes, os limites de tolerância, assim como os equipamentos de avaliação apresentam características de complexidade que **aconselham que esses dois pontos sejam abordados total e exclusivamente por especialistas.**

Medidas de controle

Como uma exposição de uma fração de segundo aos raios laser pode provocar uma lesão permanente, as medidas de controle para a exposição direta ou a feixe especularmente refletido, devem ser rigorosamente respeitadas:

a) Precauções gerais (comuns para qualquer instalação de laser)

1. Nenhuma pessoa deve olhar o feixe principal nem as reflexões especulares do feixe, quando as densidades de potência ou energia ultrapassarem os L.T.

2. Deve-se evitar enfocar o laser com os olhos, evitando assim olhar em direção ao feixe, o que aumenta o risco derivado das reflexões.

3. O trabalho com laser deve ser feito em áreas de boa iluminação geral, para manter as pupilas contraídas, e assim limitar a energia que poderia, inadequadamente, penetrar nos olhos.

4. Os protetores oculares de segurança não estilhaçáveis, destinados a filtrar as frequências específicas, características do sistema, oferecem proteção parcial. Os óculos de segurança devem ser avaliados periodicamente, para assegurar a preservação da densidade óptica adequada ao comprimento de onda desejado. Deve haver certeza de que os óculos de segurança para laser, destinados à proteção no trabalho com lasers específicos, não sejam erroneamente usados com diferentes comprimentos de onda. Armações de diferentes cores são recomendadas, e a densidade óptica deve ser mostrada no filtro. Os óculos de segurança para laser expostos a níveis de energia ou potência muito altas podem perder a sua eficácia e devem ser abandonados.

5. O feixe laser deve terminar num material-alvo que seja não refletor e resistente ao fogo; as áreas laterais do feixe devem ficar isoladas do pessoal.

6. Devem ser tomadas precauções especiais, se forem usados tubos retificadores da alta voltagem (acima de 15 KV), porque há possibilidade de que sejam gerados raios x.

b) Precauções específicas (aplicáveis a lasers pulsados de alta potência. Laser de gás de alta potência e semicondutores devem ser tratados como lasers pulsados)

1. As travas de segurança, na entrada de locais de instalações de laser, devem ser construídas de tal forma, que as pessoas não autorizadas ou em trânsito não tenham acesso às instalações, enquanto o sistema de força do laser estiver sendo carregado e preparado para uso.

2. Deverão ser utilizados um sistema de alarme que inclua som abafado, lâmpadas pisca-pisca (visíveis através dos óculos de segurança para lasers) e uma contagem regressiva, quando os bancos dos capacitadores começam a carregar.

3. Instalações que utilizam gás líquido para refrigeração, devem ser ventiladas adequadamente. Os lasers refrigerados a água são os preferidos.

4. Paredes e tetos devem ser pintados com tinta fosca, para evitar reflexão pelas superfícies. É preferível o preto fosco na zona do alvo, e uma cor clara nas zonas circundantes, para maximizar a distribuição luminosa dos aparelhos de iluminação geral.

5. Lasers em estado sólido devem ser operados com acionamento por controle remoto, com monitores de televisão, se viável. Isto elimina a necessidade de presença

de pessoal na mesma sala. Uma alternativa é enclausurar o laser, o feixe associado e o alvo numa caixa que impeça a dispersão da radiação.

c) Precauções específicas aplicáveis a sistemas laser e semicondutores, de onda contínua de baixa potência.

1. Devem ser tomadas precauções gerais com relação ao enfocamento e com o fim de evitar reflexão especular.

2. Em operações de levantamento geodésico (por exemplo), o feixe de laser deve ser interrompido no final de sua trajetória de feixe útil, por um material cuja superfície seja fosca e difusa, ou de tal cor ou refletância que torne possível a disposição, mas minimize a reflexão.

3. Materiais refletores devem ser eliminados da área do feixe, e deve ser feita uma manutenção adequada e constante.

d) Lasers a gás: dióxido de carbono-nitrogênio ($\text{CO}_2\text{-N}_2$)

1. O principal risco adicional associado com os lasers de $\text{CO}_2\text{-N}_2$ é o de incêndio. Uma parede de tijolo refratário ou asbesto de espessura suficiente deve ser instalada como aparador de retorno para o feixe.

e) Precauções específicas para instalações de laser ao ar livre

1. O pessoal deve ser afastado da trajetória do feixe em todos os pontos, onde a potência ou energia exceda os limites permissíveis. Isso deve ser realizado através do uso de barreiras físicas, controles administrativos, travas e pela limitação da passagem através da trajetória dos raios.

2. Deve ser proibida, dentro da área considerada perigosa, a passagem de tráfego de veículos não-alvo ou aviões.

3. Deve ser evitada a operação de laser sem o uso dos óculos de proteção, especialmente enquanto estiver chovendo ou nevando, ou quando houver poeira ou neblina no ar.

4. A trajetória percorrida pelo feixe deve ser isenta de todos os objetos capazes de produzir reflexões, que são potencialmente perigosas. Intensidade de luz concentrada geradas por alguns lasers, podem ser transmitidas a enormes distâncias e são potencialmente perigosas, devendo portanto receber a devida consideração.

5. **Sinais de alarme:** A sinalização de áreas potencialmente perigosas deve ser realizada de acordo com os procedimentos padrões convencionais.

f) Proteção pessoal

1. Para indivíduos expostos aos feixes de laser, devem ser fornecidos óculos de segurança de densidade ótica (D.O.) indicada para a energia envolvida. A tabela seguinte relaciona a máxima densidade de potência ou energia, que assegura uma proteção adequada pelos óculos de D.O. de um a nove. Esta tabela é baseada nos níveis máximos permissíveis de exposição para os óculos escuros adaptados:

TABELA 16 Densidade ótica de óculos para laser					
D.O.	Atenuação (dB)	Fator de Atenuação	Q-ligado: Máxima Densidade de Energia (J/cm ²)	Não Q-ligado: Máxima Densidade de Energia (J/cm ²)	Máxima Densidade de Potência de Onda Contínua (W/cm ²)
1	10	10	10 ⁻⁷	10 ⁻⁶	10 ⁻⁴
2	20	10 ²	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻³
3	30	10 ³	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻²
4	40	10 ⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻¹
5	50	10 ⁵	10 ⁻³	10 ⁻²	1
6	60	10 ⁶	10 ⁻²	10 ⁻¹	10
7	70	10 ⁷	10 ⁻¹	1	100
8	80	10 ⁸	1	10	inaplicável
9	90	10 ⁹	10	100	inaplicável

2. Óculos de segurança confeccionados de filtro de vidro colorido não devem ser utilizados quando é necessária uma atenuação acima de D.O. 9; também não se devem usar filtros plásticos ou filtros com revestimento dielétrico quando é desejada uma atenuação de D.O. 8.

3. Para prevenir a exposição da pele, o pessoal deve usar luvas protetoras, roupas e escudos. Geralmente, como proteção, procura-se voltar a face contra a área do alvo. Na soldadura a laser, o material a ser soldado deve ser circundado por barreira adequada.

4. Luvas impermeáveis, de fácil remoção, protetores faciais e óculos de segurança deverão ser a proteção mínima a ser dada ao pessoal que manuseia os gases liqüefeitos usados como refrigeradores, para lasers pulsado de alta potência. Os gases liqüefeitos devem ser armazenados de acordo aos procedimentos padrões.

g) Ventilação

Os projetos dos sistemas de ventilação devem ter a participação de pessoal que conhece os eventuais problemas, para se ter condições seguras em casos de ruptura de sistemas.

h) Riscos de eletricidade

1. precauções especiais devem ser tomadas com o sistema de alta energia, para assegurar que os cabos, entre as fontes de potência e a cabeça de laser, estejam adequadamente selecionados e colocados, e que o sistema capacitor de descarga esteja adequadamente protegido. Deve ser estudada a disposição dos botões de acionamento, para prevenir uma descarga acidental ou inadvertida de um laser. A disposição dos medidores e osciloscópios deverá também ser considerada, ponderando-se todos os riscos envolvidos.

2. Cabos, conectores, cabines e interruptores devem ser mantidos em condições apropriadas de funcionamento para prevenir choques elétricos e queimaduras. Os capacitores devem ser descarregados antes de sua limpeza ou reparo ou de qualquer equipamento a eles conectados. Aos operadores não deverá ser permitido abandonar o equipamento, até que toda a voltagem tenha sido removida dos capacitores, o que é indicado pela leitura zero na escala de um voltímetro. Coberturas para os interruptores devem ser providenciadas nos circuitos de alta voltagem, para evitar o acesso aos componentes energizados, e deve ser fornecido um sistema de regulação ou travas, para evitar que se façam conexões, a menos que as fontes de potência estejam desligadas. Uma trava com um mecanismo interno que, automaticamente, tona a fechá-la é um tipo que pode ser usado.

Todos os componentes metálicos não utilizados, como condutores de corrente, devem ser aterrados. Riscos devidos a panes do capacitor podem ser minimizados pelo uso de escudo mecânico, observando-se distância entre o operador e a bancada.

3. A escolha de cabos entre a fonte de potência e a cabeça do laser deverá ser especificada de modo a evitar o efeito corona, e haver uma resistência dielétrica adequada para o laser com o qual deverão ser usados. Devem ser realizados periodicamente testes de resistência dielétrica e de presença de efeito corona. Se um cabo mostra a presença do efeito, deverá ser trocado.

O contato acidental com cabos condutores de alta corrente, deverá ser eliminado pela disposição apropriada dos mesmos.

4. Os aparelhos, para medir altas voltagens, e os osciloscópios necessários, para uso com os lasers, deverão ser bem dispostos e protegidos, para minimizar os riscos aos operadores. Aos operadores não deverá ser solicitado olhar ou girar um feixe de laser durante o carregamento do capacitor ou durante o acionamento do laser.

i) Outras precauções e medidas de controle de interesse são as seguintes

Os binóculos ou telescópios não devem ser usados para olhar para o feixe direto ou refletido specularmente. Se for imprescindível, para tais situações, pode ser colocado um filtro com densidade ótica suficiente no percurso ótico do binóculo, e/ou o operador deve usar proteção ocular adequada.

Em microtrabalhos laser podem ser usados microscópios para vigilância intermitente, mas devem ter desligadores para evitar que o laser funcione enquanto o trabalho é observado.

Se o feixe laser for dirigido através de uma janela de vidro, deve passar perpendicularmente ao plano de vidro, ou então será necessário o uso de protetores oculares pelo pessoal que fica próximo à janela.

Nenhum trabalho de manutenção deve ser feito, até que o laser esteja desligado, e a carga residual dos capacitores tenha sido eliminada.

Sistemas laser que empregam água para esfriamento, devem antes da ativação elétrica, ser revisados para verificar possíveis escapamentos de água, que possam causar a destruição do equipamento. A água utilizada não deve conter íons estranhos.

Sob nenhuma circunstância, deve ser deixado sem atenção um laser ativado.

Qualquer exposição acidental ao laser deveria ser seguida por um completo exame médico.

Em todos os casos, a segurança com laser é obtida principalmente através de medidas preventivas, motivo pelo qual são necessárias avaliações periódicas da instalação e dos conhecimentos de todo o pessoal que poderia ficar envolvido, pelo pessoal com experiência em segurança em laser.

BIBLIOGRAFIA BÁSICA*

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS. **Threshold limit values for chemical substances and physical agents in the workroom environment with intended changes** Cincinnati, 1981.**

EUA. Department of Labor. Occupational Safety and Health Administration. Safety and health standards (29 CFR 1910), 1910.97. In: _____. **Nonionizing radiation**. Ed. Ev. Nov. 7. 1978.

OLISHIFSKI, Julian B. **Nonionizing radiation: lasers, microwaves, light**. In: FUNDAMENTALS of industrial hygiene. Chicago, NSC, 1971. Chap. 7, p. 213-70

ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD. **Radiaciones no ionizantes y ondas ultrasonicas**. In: RIESGOS del ambiente humano para la salud. Washington, OPS/OMS, 1976. P227-34. (OPS. Publicación Científica n° 329)

WILKENNING, George M. **Non-ionizing radiation**. In: THE INDUSTRIAL environment; its evaluation and control. Washington, US. Govt. Print. Off., 1973. Chap. 28, p. 357-76.

* O autor recomenda para consulta sobre o tema da obra em geral.

** Nos casos de desconhecimento de inglês, em substituição, recomendamos a tradução da edição de 1970, realizada pela FUNDACENTRO. Limites de tolerância. 3. Ed. São Paulo, 1977. Série Técnica. H1, que embora apresentando diferenças com as recomendações atuais, nos conceitos gerais permanece válida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS (*)

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRY HYGIENISTS. **A guide for uniform industrial hygiene codes or regulations for laser installations**. Chicago, 1968. 22p.

AUBERTIN, G. & GRANJON, M. Travail dans les verreries; in vêtement de protection contre le rayonnement infrarouge. **Travail et Sécurité**, paris, (8/9): 402-9, août/sept. 1975.

CLEARLY, S. F. The biogival effects of microwaves and radiofrequency radiation. **CRC Critical Reviews in Environmental Control**, 1 (2):257, 1970

CLEUET, A. et alii, Risques liés a. l'utilisation industrielle das lasers. **Cahiers de notes Documentaires**, Paris, (74): 47-59, jan./mar. 1974

CONTROL of radiant heat. In: ALLAN, Ralph E. et alii. **Healting and cooling for man in industry**. 2 ed. Akron, AIHA, 1975. Cháp. 3, p.29-37.

EMMETT, Edward A. & HORSTMAN, Sandfort W. Factors influencing the out of ultraviolet radiation during welding. **Journal of Occupational Meclidine**, Chicago, **18** (1):41-4, Jan.1976.

FONNEY JUNIOR, J. R. & POWELL, C. H. **Field measurement of ultraviolet, infrared and microwaves energies**. Cincinnati, Division of Occupational Health.

KLASCIUS, A. F. Microwave radiation protective suit. **American Industrial Hygiene Association**, Akron, **32** (11):771-4, nov. 1971

LARRAINZAR GONZALEZ, F. J. Determinación de la distancia de seguridad en los trabajos com láseres. **Medicina y Seguridad del Trabajo**, Madrid, **25** (100):22-9, dic. 1977

SENSINTAFFAR, Edwin L. et alii. Na analysis of a report occupational exposure to infrared radiation. **American Industrial Hygiene Association Journal**, Akron, **39** (1):63-9, Jan. 1978.

SHINEY, D. M. et alii. **Laser hazard classification guide**. Cincinnati, NIOSH, 1976. 206p. (HEW Publication N° (NIOSH) 76-183)

SUESS, Michael J. The development of a long-term programme on non-ionizing protection. **Health Physics**, Elmsford, **27**(5):514-22, Nov. 1974

VAUTRIN, J. P. et alii. Le rayonnement électromagnétique non-ionizant, domaine des radiofréquences et hyperfréquences; applications et risques. **Travail et Sécurité**, Paris, (5):258-64, May 1977.

(*) O autor recomenda para consulta sobre pontos específicos da obra.