

# PRINCÍPIOS DA ASSINATURA INFRAVERMELHA

TIUDORICO LEITE BARBOZA\*  
Contra-Almirante (Ref<sup>o</sup>-EN)

---

## SUMÁRIO

Introdução  
Princípios da emissão do infravermelho  
Propagação da emissão  
Emissão devido ao firmamento (céu) e ao mar  
O mecanismo de detecção  
Obtenção da assinatura infravermelha  
Conclusão

## INTRODUÇÃO

Este artigo se propõe a abrir espaço na *RMB* para um assunto que se supõe seja de interesse da comunidade de leitores da revista, qual seja o acervo de conhecimentos sobre os princípios da assinatura infravermelha. A *expertise* sobre o assunto foi incorporada à Marinha do Brasil (MB)

por ocasião da denominada avaliação de engenharia do projeto e construção das corvetas da classe *Inhaúma* [1], quando o arraste de conhecimento científico-tecnológico propiciado pelo projeto e construção das corvetas daquela classe havia elevado o patamar de conhecimento do Setor do Material sobre vários aspectos, como é o caso da assinatura infravermelho.

---

\* Serviu no Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro na Divisão de Oficinas Estruturais e, mais tarde, como vice-diretor; na Diretoria de Engenharia Naval e no Centro de Projetos Navais, nos projetos das corvetas classes *Inhaúma* e *Barroso*. Doutor em Ciências (DSc) em Engenharia Oceânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Faz parte atualmente do corpo docente do Centro de Instrução Almirante Wandenkolk.

## PRINCÍPIOS DA EMISSÃO DO INFRAVERMELHO

### *A emissão da energia térmica*

Todos os materiais emitem radiação na região do infravermelho do espectro eletromagnético. Esta energia pode ser usada para detectar a presença de navios de guerra e assim prover mísseis de autodiretores que utilizem a detecção desta mesma energia para a busca de seus alvos. Diferentemente do radar, que utiliza técnica ativa, dirigindo um pulso de energia contra o alvo e detectando sua reflexão, a detecção infravermelho é passiva, ou seja, é devida à energia emitida pelo alvo, embora desde o final da década de 1980 houvesse, principalmente na França, pesquisa e desenvolvimento voltados para a possibilidade de utilizar detectores infravermelho para a detecção de um alvo iluminado por laser. Esta possibilidade será discutida a seguir, quando se comentará o espectro infravermelho e o espectro da emissão laser.

### *O espectro infravermelho*

A região do infravermelho é, por conveniência, subdividida em cinco sub-regiões, cada uma delas tendo uma denominação que indica a sua proximidade da região do espectro visível. São elas:

a) infravermelho próximo (NIR de *near infra-red*), região que se estende de 0,75  $\mu\text{m}$  (400 Tz) a 3  $\mu\text{m}$  (100 Tz);

b) infravermelho médio (MIR de *middle infra-red*), região que se estende de 3  $\mu\text{m}$  (100 Tz) a 6  $\mu\text{m}$  (50 Tz);

c) infravermelho distante (FIR de *far infra-red*), região que se estende de 6  $\mu\text{m}$  (50 Tz) a 15  $\mu\text{m}$  (20 Tz); e

d) infravermelho extremo (XIR de *extreme infra-red*), região que se estende de 15  $\mu\text{m}$  (20 Tz) a 1m m (300 Gz).

Como a emissão do laser se dá num comprimento de onda de 1,063  $\mu\text{m}$  portanto na faixa do infravermelho próximo, este fato abre a possibilidade de possível iluminação do alvo com laser e sua detecção por detector infravermelho.

As regiões de particular interesse para detecção e reconhecimento são as bandas MIR (banda II) e FIR (banda III), não somente por causa das características de emissão, mas também porque nessas bandas as condições de propagação são mais favoráveis.

### *Emissão da radiação infravermelha*

A teoria da emissão infravermelho é calcada no conceito de emissor perfeito ou “corpo negro”, definido como o objeto capaz de absorver totalmente a energia incidente, qualquer que seja seu comprimento de onda. O suporte fundamental desta teoria é constituída de três leis, que serão aqui apresentadas por serem absolutamente indispensáveis para o bom entendimento do texto.

#### **1) Lei de Planck**

Estabelece a formulação teórica para a emissão espectral do corpo negro dada por :

$$\frac{dR(\lambda T)}{d\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right)}, \quad \text{onde:}$$

$h$  = Constante de Planck = 6,6256x 10<sup>-34</sup> Joule.s;

$k$  = Constante de Boltzmann=1,38054 Joulex(°k)<sup>-1</sup>;

$c$  = velocidade da luz = 2,988x 10<sup>8</sup> m/s; e

$T$  = temperatura absoluta do corpo negro em °K

A Figura 1 abaixo apresenta a Lei de Planck em forma gráfica.

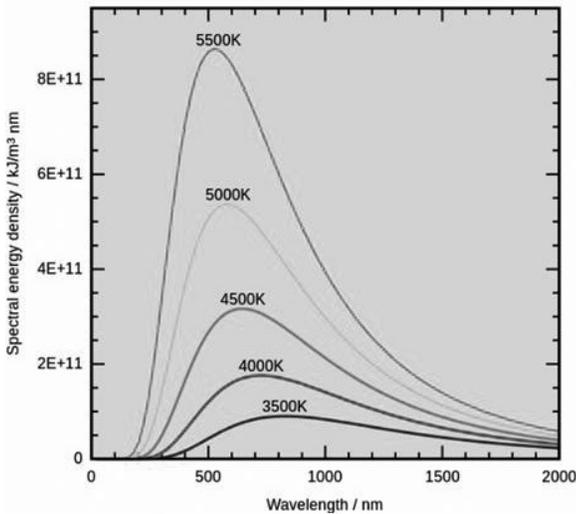


Figura 1– Representação gráfica da Lei de Planck

### 2) Lei de Wien

Estabelece as coordenadas do máximo da curva de distribuição espectral da Lei de Planck sendo dado por:

$$\text{Valor máximo em } \mu\text{m} = \frac{2898}{T}$$

A consequência da Lei de Wien é que quanto maior seja a temperatura de um corpo negro, menor é o comprimento de onda na qual ele emite.

### 3) Lei de Stefan-Boltzman

Esta lei estabelece a emitância total do corpo negro para uma temperatura T dada por:

$$Rt = \sigma T^4$$

$$\sigma = \text{Constante de Stefan} = 5,67 \times 10^{-8} \text{ (W/m}^2\text{) x (}^\circ\text{k)}^{-4}$$

Matematicamente, Rt significa a área sob distribuição espectral e, fisicamente, a energia total contida no espectro para a temperatura considerada. É nesta formula-

ção que se concentra a maioria dos cálculos e desenvolvimentos aplicáveis às técnicas

de detecção da radiação infravermelha. Esta energia também pode ser expressa pela luminância, que pode ser definida de maneira simplificada como  $1/\pi$  vezes da emitância ( $L=R/\pi$ ). Na prática, os objetos comuns não são, geralmente, corpos negros, e sim corpos ditos cinzentos, e, assim, a aplicação desta lei sofre uma correção por meio da aplicação de um termo denominado emissividade espectral. De uma maneira simplificada, podemos dizer que a energia total emitida por um corpo a uma temperatura T toma a forma  $Rt = \epsilon \sigma T^4$ , onde  $\epsilon$  é a sua emissividade, variando entre 0 e 1, mas normalmente

menor que 1, pois o valor 1 só é aplicável a um corpo negro.

## PROPAGAÇÃO DA EMISSÃO

Entre o corpo emissor e o detector, há atenuação da radiação, ou seja, o detector recebe apenas parte da energia emitida. Essa atenuação é governada por uma lei exponencial, ou seja, a transmissão através de um percurso da atmosfera pode ser expressa por  $F = F_0 e^{-kx}$ , onde  $F_0$  é o fluxo de radiação incidente, k é o chamado coeficiente de extinção e x a distância considerada na propagação.

Essa atenuação se deve a dois mecanismos básicos, a saber:

- absorção molecular pelos gases da atmosfera, principalmente vapor-d'água e gás carbônico; e
- difusão pelas gotículas de água e partículas existentes na atmosfera, como poeira, neblina e *fog*.

A absorção pela atmosfera é altamente dependente do comprimento de onda da radiação, fazendo com que na prática haja duas “janelas” de transmissão e, em consequência, duas assinaturas infravermelho a serem consideradas: a primeira na região de  $3\mu\text{m}$  a  $5\mu\text{m}$  (MIR ou banda II) e a segunda na região de  $8\mu\text{m}$  a  $14\mu\text{m}$  (FIR ou banda III). Na banda de  $3\mu\text{m}$  a  $5\mu\text{m}$  (banda II), preponderam as emissões devido a objetos cujas temperaturas se situam entre  $300^\circ\text{C}$  e  $600^\circ\text{C}$ , enquanto na banda de  $8\mu\text{m}$  a  $14\mu\text{m}$  (banda III) preponderam as emissões de energia produzidas por objetos cujas temperaturas estão próximas ao meio ambiente, como é o caso da estrutura e da superestrutura do navio.

### EMISSÃO DEVIDO AO FIRMAMENTO (CÉU) E AO MAR

A detecção de navios é feita contra a assinatura do fundo (mar e céu), ou seja, depende do contraste térmico entre essas duas assinaturas.

### O MECANISMO DE DETECÇÃO

O mecanismo de detecção existente numa câmera infravermelho é ilustrado pelas figuras 2 e 3. Cada componente do mecanismo de detecção é descrito a seguir:

- a) objeto – alvo para o qual estamos interessados em medir sua assinatura;
- b) fundo – representa o meio ambiente que circunda o alvo cuja assinatura será colocada em contraste (contraste térmico) com a do objeto;

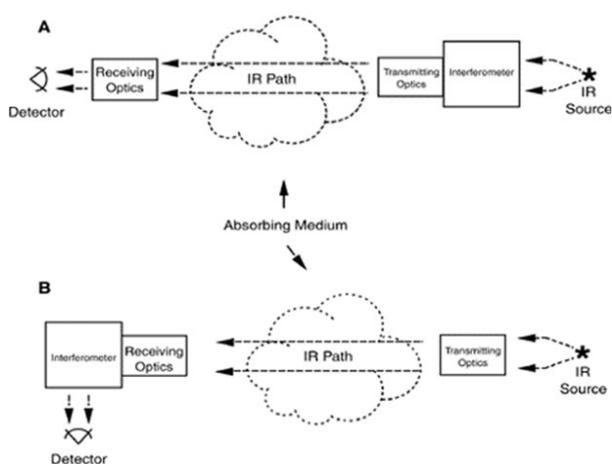


Figura 2– Fluxograma simplificado do mecanismo de detecção para dois posicionamentos diferentes ( A e B) do interferômetro

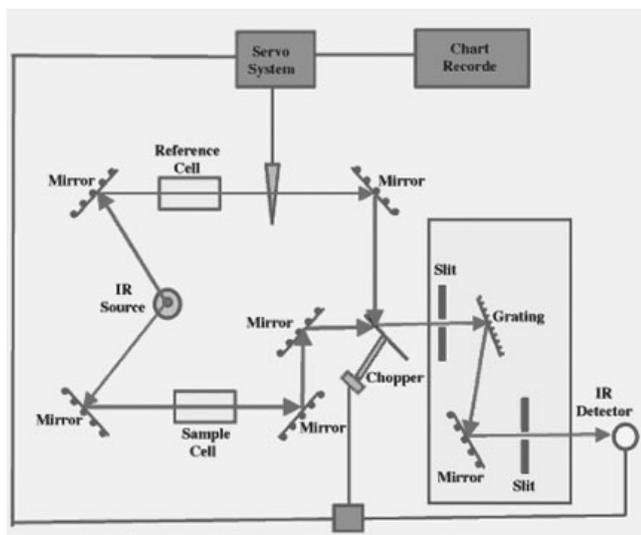


Figura 3 – Fluxograma de medição infravermelho

- c) atmosfera – responsável pela atenuação da energia térmica emitida pelo alvo;
- d) sistema ótico – representa o conjunto de todos os dispositivos óticos existentes numa câmera infravermelho, incluindo a pupila de entrada;
- e) dispositivo de análise espacial – propicia que o detector faça uma varredura na imagem, segundo dois eixos;

f) filtro espectral – permite selecionar a banda desejada na medição;

g) detector – dispositivo que transforma o sinal ótico incidente (função dos parâmetros de espaço e tempo) em um sinal elétrico ou resposta na forma de tensão, corrente ou potência;

h) registrador do sinal – permite armazenar os dados relativos à medição;

i) dispositivo de tratamento do sinal – permite corresponder a cada valor de tensão vídeo e, portanto, a cada valor de temperatura observada, um nível de luminância;

j) dispositivo de visualização – é, normalmente, uma câmera de TV, onde a imagem infravermelha é transformada em imagem visual;

l) dispositivo de utilização funcional – permite que o sinal, após ter sido devidamente tratado, seja utilizado para a elaboração de gráficos e curvas.

## OBTENÇÃO DA ASSINATURA INFRAVERMELHA

### *Conceito de assinatura infravermelha*

A assinatura infravermelha de um alvo consiste na caracterização e na quantificação da energia térmica por ele emitida, havendo três tipos de assinatura infravermelha, a saber:

a) assinatura espacial – fornece a distribuição espacial, ao longo da geometria do alvo, da energia térmica por ele emitida, sendo normalmente utilizada para navios;

b) Assinatura radiométrica – fornece o valor total de energia térmica emitida pelo alvo, numa banda considerada larga, como, por exemplo, na banda II, que compreende comprimentos de onda entre  $3\mu\text{m}$  e  $5\mu\text{m}$ ; e

c) Assinatura espectro radiométrica – fornece o valor total da energia emitida pelo alvo numa banda considerada fina, no entorno de um determinado valor de comprimento de onda. Não é, normalmente,

utilizada para navios, mas sim para alvos com um espectro altamente seletivo, como é o caso em que há emissão de  $\text{CO}_2$ .

Para navios, são normalmente obtidas assinaturas para as bandas II e III. A energia que chega ao detector não é a que é emitida pelo alvo, devido à atenuação da atmosfera e às características de transmissão dos elementos óticos contidos numa câmera de detecção. A energia detectada corresponde, assim, a uma energia denominada aparente, normalmente expressa em temperatura aparente, ou luminância aparente, uma grandeza que, de uma maneira geral, pode ser aproximada por:

$$L = \frac{1}{\pi} \sigma T \left( \frac{W}{m^2} \cdot Sr \right)$$

A assinatura real do navio não pode ser obtida por medição sem que haja uma decorrelação para levar em conta a atenuação da atmosfera. Esta decorrelação vem, há muitos anos, sendo obtida por meio do *software* Lowtran, desenvolvido pelo Optical Physics Division, Air Force Geophysics Laboratory, nos Estados Unidos da América.

Assim sendo, não existe uma assinatura infravermelha única do navio, mas sim uma assinatura para cada condição ambiental e aproamento.

### *Importância do conhecimento da assinatura infravermelha de um alvo*

A assinatura infravermelha de um alvo consiste na caracterização e quantificação da energia térmica por ele emitida. Traduz, normalmente, o resultado obtido pela integração da energia distribuída numa banda de frequência, havendo, na região do infravermelho, como mencionado anteriormente, duas bandas consideradas importantes para a detecção e o reconhecimento, devido às características de emissão e às condições favoráveis de propagação a elas inerentes.

As medições de assinaturas infravermelhas de navios de guerra têm os seguintes objetivos:

a) obtenção de dados aplicáveis ao desenvolvimento de autodiretores infravermelhos;

b) bem conhecer as assinaturas dos navios nacionais e estrangeiros, se possível. A Marinha francesa, por exemplo, realiza medições de assinaturas infravermelhas dos navios estrangeiros que adentram no porto de Toulon e, assim, estabelece um banco de dados de grande importância de natureza tática; e

c) permitir, de forma cada vez mais precisa e detalhada, a especificação dos dispositivos infravermelhos (*infra-red decoys*).

### ***Procedimentos para melhorar a assinatura infravermelha de navios de guerra***

A detecção do navio por sensores infravermelhos é fortemente dependente do contraste térmico entre este e o fundo (mar, céu, terra). Da mesma forma, seu reconhecimento também é facilitado pelo referido contraste térmico, principalmente incluindo os denominados pontos quentes (*hot points*). Assim sendo, para melhorar a assinatura infravermelha do navio é necessário obter:

a) redução do contraste térmico entre as diferentes regiões do navio; e

b) redução das intensidades de energia térmica emitidas pelos pontos quentes, em particular a chaminé.

A redução do contraste térmico entre as diferentes regiões do navio exige que sejam realizados estudos para este fim, por ocasião das fases iniciais do projeto, sendo muito difícil, ou até mesmo impraticável, obter tal redução, tratando-se de navios já construídos.

Com relação aos denominados “pontos quentes”, por serem localizados, a redução da energia por eles emitida pode ser obtida

mesmo para o navio já construído. A região mais significativa é, sem dúvidas, a região da chaminé, principalmente considerando na direção em que sua cavidade é vista de topo (assinatura vertical, no caso da maioria dos navios; assinatura lateral, no caso de alguns navios com descarga de gases lateral).

As Marinhas mais avançadas vêm, há longo tempo, realizando pesquisa e desenvolvimento voltados para a redução da assinatura infravermelha dos seus navios de guerra – Gaussorges [3], Thorne [4] e Gates [2] – e para isto utilizando de *softwares* para predição de assinaturas infravermelhas de navios, além do estabelecimento de medições. A estrutura desses *softwares* permite:

a) obter a distribuição de temperatura ao longo do navio;

b) realizar cálculo da intensidade de energia emitida pelo meio ambiente (*background*);

c) realizar cálculo da transmissão atmosférica; e

d) realizar cálculo para avaliação do contraste térmico entre o navio e o meio ambiente, o qual é função da diferença entre a energia térmica total emanada do navio, isto é, aquela refletida, superposta àquela emitida, e aquela emanada do meio ambiente. O contraste térmico é um parâmetro indicador da assinatura infravermelha.

### ***Importância da realização de medidas para a obtenção da assinatura infravermelha de navios de guerra***

Essa importância pode ser resumida pelos três objetivos mencionados abaixo:

a) propiciar o desenvolvimento dos métodos e das técnicas pertinentes de medição da assinatura infravermelha e acompanhar os seus respectivos estados da arte, de grande importância sob o ponto de vista tático;

b) obter dados estratégicos de natureza sigilosa, que somente são disponíveis para quem os obtém por meio da realização de medições;

c) especificar dispositivos de defesa infravermelha similares aos *chaffs* eletrônicos (*infrared decoys*); e

d) avaliar propostas de *decoys*, atividade que requer, necessariamente, o desenvolvimento de estudos visando à seleção da alternativa mais promissora para a proteção do navio.

### ***Medições realizadas para a Corveta Inhaúma por ocasião da Avaliação de Engenharia dos navios da classe***

Após a construção das corvetas da classe *Inhaúma*, veio a fase de avaliação operacional que incorporou a denominada Avaliação de Engenharia, expressão cunhada na MB a partir das corvetas da classe *Inhaúma*, conceituada como sendo a verificação por meio de provas, medições ou testes da correlação entre hipóteses, critérios e cálculos de projeto e os resultados obtidos, visando:

- identificar deficiências de equipamentos e sistemas até então não identificados; e
- obter dados para aperfeiçoar o projeto do navio avaliado e eventuais futuros projetos.

A Avaliação Operacional foi voltada para três aspectos distintos: a vulnerabilidade (discrição e sobrevivência), a mobilidade e o controle ambiental. O grupo da discrição incorpora a assinatura radar, a assinatura infravermelha, a assinatura magnética e a assinatura acústica.

Com relação à assinatura infravermelha, a Corveta *Inhaúma* foi objeto de medições de seus parâmetros caracterizadores, registrados em documento classificado, razão pela qual não pôde ser disponibi-

lizado nesta matéria. As medições foram realizadas com as condições de tempo vigentes por ocasião das provas de mar, em três raias da Baía de Guanabara. Aspectos ligados à confidencialidade impediram que tais medições fossem feitas também para as fragatas classe *Niterói*, que eram, na ocasião, os navios mais modernos de complexidade equivalente que, assim, pudessem ser comparadas para essas duas classes de navios, com o objetivo de avaliar as corvetas, já que as fragatas seriam a referência mais moderna de que dispúnhamos.

Movida pelo espírito de não desperdiçar a oportunidade, a Marinha houve por bem realizar tais medições também para o ex-Contratorpedeiro *Espírito Santo*, medições estas que vieram a demonstrar que, obviamente, como já se esperava, as corvetas da classe *Inhaúma* são muitíssimo menos detectáveis do que um contratorpedeiro daquela geração, o que, em termos relativos, não pode ser encarado como um mérito, por ser óbvio, o que retirou valor da comparação feita. As limitações financeiras impediram que fossem feitas medições semelhantes para a caracterização da assinatura radar, e, portanto, nenhum valor confiável de seção reta radar pode ser atribuído aos navios da classe.

As medições mostraram que as corvetas da classe *Inhaúma*, do ponto de vista absoluto, isto é, sem comparações com outros navios de mesma geração, apresentam assinatura infravermelha com baixíssima taxa de indiscrição, em que somente as temperaturas aparentes (temperatura aparente é aquela que teria um “corpo negro” para emitir a mesma quantidade energia), na região da chaminé, apresentam contrastes térmicos significativos em relação às demais regiões do navio, embora saibamos que, à época em que foram feitas as medições, a capacidade de resolução térmica dos sensores para de-

teção já era da ordem de 0,10° C, capazes de rastrear e acompanhar, por satélite, a esteira térmica de um submarino e que as Marinhas mais avançadas já desenvolviam pesquisa e desenvolvimento voltados para dispositivos de resfriamento da região da chaminé. O próprio projeto das corvetas da classe *Inhaúma* já admitia venezianas na região da chaminé para o seu resfriamento, mas sem que se conhecesse a efetividade deste dispositivo.

## CONCLUSÃO

Na época das medições da assinatura infravermelha das corvetas da classe *Inhaúma* (1989), o assunto em pauta já era objeto de pesquisa e desenvolvimento das Marinhas mais avançadas. Após quase 30 anos, o estado da arte sobre o assunto, com certeza, é muitíssimo diferente e mais avançado. Ficaremos cada vez mais ultrapassados se não nos dermos conta deste fato.

📁 CLASSIFICAÇÃO PARA ÍNDICE REMISSIVO:

<CIÊNCIA E TECNOLOGIA>; Infravermelho; Magnetismo; Estudo; Corveta;

## REFERÊNCIAS

- [1] Barboza, Tiudorico Leite. “Da *Inhaúma* à *Barroso* – Um processo marcante na história do projeto e da construção naval-militar no País”, *Revista Marítima Brasileira*, vol. 125, nº 01/03.
- [2] Gates P. J. “Infrared Signature of Warships”, *Journal of Naval Engineers*, dezembro/1986.
- [3] Gaussorge G. *La Thermographie Infrarouge – Technique et Documentation Lavoisier*, 1984.
- [4] Thorne R. W. *Signature Reduction and Control-Commander*. Royal Naval Engineering College, vol. 41, nº 1.