

Pixel Size, Spectral Range, Sensibilidade, Resolução e Lente:

o que realmente importa na hora de escolher uma câmera térmica

Alca Network — Distribuidora especializada em projetos complexos de CFTV, controle de acesso e conectividade. Parceira do integrador | WhatsApp: (44) 3023-0333 | www.alcanetwork.com.br

Ao comparar datasheets de câmeras térmicas, alguns parâmetros aparecem sempre — e são frequentemente os menos compreendidos: Pixel Size, Spectral Range, Sensitivity (NETD), Resolução e Lente. Juntos, eles determinam se uma câmera térmica vai realmente detectar o que você precisa, ou apenas mostrar um borrão de calor genérico.

Neste artigo, explicamos cada um desses conceitos de forma técnica e prática, com fontes oficiais para quem quiser se aprofundar.

1. Pixel Size (Tamanho do Pixel)

O que é

O Pixel Size é a dimensão física de cada célula sensora do detector térmico (bolômetro), medida em micrômetros (μm — milionésimos de metro). Diferente das câmeras ópticas comuns, onde "mais megapixels" costuma ser o critério principal, em sensores térmicos o tamanho físico de cada pixel tem um papel direto na eficiência de captação de energia infravermelha.

Por que isso importa na prática

Sensores térmicos passaram por uma evolução constante nas últimas décadas: os primeiros microbolômetros comerciais, no início dos anos 1990, usavam pixels de 50 μm . Esse valor caiu para 25 μm , depois 17 μm , e os sensores mais modernos disponíveis hoje no mercado já operam com 12 μm , um padrão considerado atual e eficiente na indústria de imagem térmica.

Tabela: Evolução do Pixel Pitch em Microbolômetros

Período (aprox.)	Pixel Pitch	Marco Tecnológico
1992	50 μm	Primeiro microbolômetro comercial
2002	25 μm	Redução via avanços de manufatura
2007	17 μm	Padrão amplamente adotado na indústria
2013 em diante	12 μm	Padrão atual de alta performance

Pixels menores permitem:

- Sensores mais compactos com a mesma resolução (ou resoluções maiores no mesmo tamanho físico de chip);
- Lentes menores e mais baratas, já que a área do sensor a ser coberta é menor;
- Câmeras mais leves e discretas, importante em aplicações de bullet/turret para instalação externa.

O trade-off técnico é que, em teoria, pixels menores captam menos energia térmica por célula — mas os avanços em materiais (VOx — óxido de vanádio) e eletrônica de leitura compensaram essa perda, mantendo alta sensibilidade mesmo em pixels de 12 μm .

Por que isso importa na hora da compra

Pixels menores, como os de 12 μm hoje disponíveis no mercado, entregam a mesma (ou melhor) qualidade de imagem térmica que sensores antigos de 17 μm ou mais — só que em corpos mais compactos e com melhor custo-benefício, sem sacrificar sensibilidade ou nitidez.

Fontes técnicas

- Tese acadêmica, Middle East Technical University (METU) — "Development of Small Size Uncooled Infrared Microbolometer Pixel": https://open.metu.edu.tr/bitstream/handle/11511/93275/but_thesis_v6.6.7_basim.pdf
- ResearchGate — "Uncooled infrared detector with 12 μm pixel pitch video graphics array": <https://researchgate.net/publication/260978271>

2. Spectral Range (Faixa Espectral)

O que é

É a faixa de comprimento de onda da radiação eletromagnética que o sensor consegue captar, medida em micrômetros (μm). As câmeras térmicas de segurança operam tipicamente na faixa de 8 a 14 μm , chamada de LWIR — Long-Wave Infrared (Infravermelho de Onda Longa).

Por que essa faixa específica

Todo corpo com temperatura acima do zero absoluto emite radiação infravermelha — mas a intensidade e o comprimento de onda dessa radiação variam conforme a temperatura do objeto (Lei de Planck/deslocamento de Wien). Objetos próximos da temperatura ambiente (pessoas, animais, veículos, motores, focos de incêndio) emitem a maior parte de sua energia térmica justamente na faixa de 8–14 μm .

Tabela: Classificação das Bandas do Espectro Infravermelho

Banda	Faixa Espectral	Característica Principal
NIR (Near-Infrared)	0,7 – 1,0 μm	Mais próxima da luz visível; usada em visão noturna ativa
SWIR (Short-Wave IR)	0,9 – 1,7 μm	Infravermelho "refletido"; penetra bem fumaça e neblina
MWIR (Mid-Wave IR)	3 – 5 μm	Alto contraste térmico; usada para motores e gases quentes
LWIR (Long-Wave IR)	8 – 14 μm	Faixa térmica passiva mais usada; ideal para pessoas e veículos

Além disso, essa faixa coincide com uma janela atmosférica de baixa absorção — ou seja, a atmosfera terrestre (vapor d'água, CO_2) interfere pouco na propagação desses comprimentos de onda, permitindo detecção a longas distâncias mesmo em neblina leve, fumaça ou poeira.

Por que isso importa na hora da compra

Operar na faixa de 8-14 μm (LWIR) não é uma escolha arbitrária — é a faixa exata onde o calor do corpo humano, de veículos e de incêndios é mais visível, e onde a atmosfera menos atrapalha a detecção a longa distância.

Fontes técnicas

- Phlux Technology — "Wavelengths in IR sensing: SWIR, MWIR, LWIR": <https://phluxtechnology.com/latest/wavelengths-in-ir-sensing-swir-mwir-lwir-and-why-1550-nm-matters>
- SPIE (Sociedade Internacional de Óptica e Fotônica) — publicações sobre sensores LWIR: <https://spie.org/Publications/Proceedings/Volume/12729>

3. Sensitivity / NETD (Sensibilidade Térmica)

O que é

NETD significa Noise Equivalent Temperature Difference (Diferença de Temperatura Equivalente ao Ruído). É a menor diferença de temperatura que o sensor consegue distinguir do próprio ruído eletrônico interno, medida em milliKelvin (mK).

Na prática: quanto menor o valor de NETD, mais fina é a diferença de temperatura que a câmera consegue captar — e mais "limpa" e detalhada é a imagem térmica resultante.

Como isso é medido

O NETD é calculado apontando a câmera para um corpo negro (black body) — um dispositivo de calibração que emite uma temperatura uniforme e conhecida. Uma série de quadros é capturada e a variação estatística (ruído) entre os pixels, a uma temperatura constante, define o NETD do sensor.

Tabela Oficial: Escala de Qualidade NETD (FLIR)

Faixa de NETD	Classificação	Observação
< 25 mK	Excelente	Imagem nítida mesmo em baixo contraste térmico (chuva, neblina)
< 40 mK	Boa	Performance sólida para a maioria das aplicações profissionais
< 50 mK	Aceitável	Adequada para uso geral, com alguma perda em condições adversas
< 60 mK	Satisfatória	Nível básico; mais ruído em cenas de baixo contraste

Por que isso importa na prática

- Câmeras com NETD < 25-40 mK são consideradas de alta performance, produzindo imagens nítidas mesmo em cenas de baixo contraste térmico (dias quentes, neblina, chuva leve);
- Câmeras com NETD > 60-80 mK tendem a gerar imagens mais granuladas, com mais alarmes falsos em sistemas de análise de vídeo (VCA), já que o próprio ruído do sensor pode ser confundido com movimento ou calor real;
- Em aplicações de segurança crítica — como VCA preditivo e detecção precoce de incêndio — um NETD baixo é o que permite distinguir pequenas variações reais de temperatura do ruído de fundo do próprio sensor.

Por que isso importa na hora da compra

O NETD é, na prática, o parâmetro que separa uma câmera térmica "genérica" de uma câmera confiável para segurança crítica: é ele que determina se a câmera vai detectar um princípio de incêndio ou uma pessoa camuflada atrás de vegetação — ou se vai simplesmente gerar ruído e alarmes falsos.

Fontes técnicas

- FLIR (Teledyne) — "The Importance of Thermal Sensitivity (NETD) for Detection Accuracy": <https://www.flir.com/discover/security/perimeter-protection/the-importance-of-thermal-sensitivity-for-detection-accuracy/>
- FLIR OEM — "Comparing Sensitivity of Thermal Imaging Cameras": <https://oem.flir.com/learn/discover/Comparing-Sensitivity-of-Thermal-Imaging-Cameras-Modules/>
- SPIE Photonics Focus — "Beyond resolution, sensitivity looms large for infrared thermal imaging cameras": <https://spie.org/news/photonics-focus/julyaug-2022/improving-infrared-thermal-sensing-cameras>
- Artigo científico peer-reviewed (periódico Sensors, MDPI), DOI 10.3390/s21175700: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8434484/>
- MOBOTIX — "Thermal Imaging Technology Basics": <https://www.mobotix.com/en/thermal-technology>
- Madison Tech — explicação didática do artigo MOBOTIX: <https://madison.tech/thermal-imaging-technology-basics-from-mobotix/>

4. Resolução para Câmera Térmica

O que é

A resolução térmica é o número de pixels do sensor, expresso como largura x altura (ex.: 160x120, 320x240, 640x480, 640x512). Diferente das câmeras ópticas, onde a resolução costuma ser vendida em megapixels, no mundo térmico ela é expressa em pares de números porque cada pixel corresponde a um ponto real de medição de temperatura na cena.

Classificação oficial por faixa de resolução

Um whitepaper técnico da Sofradir-EC/Lynred (fabricante de sensores infravermelhos) classifica as câmeras térmicas em três faixas de resolução:

Classificação	Resolução	Total de Pixels	Uso Típico
Baixa Resolução	$\leq 160 \times 120$	19.200 pixels	Uso geral, inspeções básicas, baixo custo
Resolução Média	320 x 240	76.800 pixels	Uso profissional, inspeção elétrica e industrial
Alta Resolução	640 x 480	307.200 pixels	Inspeção detalhada, medição de precisão

Câmeras de segurança e perímetro seguem uma lógica semelhante, mas usam formatos ligeiramente diferentes por herdarem sensores de câmeras aéreas/militares — por exemplo, 336x256 e 640x512 são resoluções comuns citadas pela FLIR para câmeras térmicas embarcadas (UAS) e de vigilância.

Resoluções comuns em câmeras de segurança e vigilância

Resolução	Total de Pixels	Aplicação Típica
160 x 120	19.200	Câmeras de entrada, curto alcance
336 x 256	86.016	Perímetro de médio porte, embarcado (UAS)
640 x 480	307.200	Segurança profissional, boa relação custo-benefício
640 x 512	327.680	Alta performance, longo alcance com VCA/IA

Por que isso importa na prática

- Mais pixels = mais pontos reais de temperatura na cena, o que aumenta a precisão da medição e reduz a média ("contaminação") do sinal com o fundo ao redor do alvo;
- Para que uma medição de temperatura seja confiável, o alvo precisa ocupar um número mínimo de pixels na imagem — por isso resolução e distância de detecção andam juntas (ver Critérios de Johnson);
- Em aplicações de segurança com VCA, mais pixels também significam mais alcance de detecção/reconhecimento/identificação para a mesma lente.

Por que isso importa na hora da compra

Resolução em câmera térmica não é sobre nitidez de imagem para os olhos — é sobre quantos pontos de medição real de temperatura cabem sobre o seu alvo. Um sensor 640x512 fornece 4x mais pontos de dados que um 320x240 para a mesma cena.

Fontes técnicas

- Sofradir-EC / Lynred — "Understanding Infrared Camera Thermal Image Quality" (whitepaper técnico com classificação oficial de resolução): <https://www.lynred-usa.com/media/wp-understanding-tiq-v06-web.pdf>

- FLIR — "UAS Camera resolution" (explica formatos 160x120, 336x256, 640x512): https://flir.custhelp.com/app/answers/detail/a_id/3485/~flir---uas-camera-resolution
- Reliable Plant — "Infrared Detector Resolution: How Important Is It?" (impacto da resolução na precisão de medição): <https://www.reliableplant.com/Read/703/infrared-detector-resolution>

5. Lente para Câmera Térmica

O que é

A lente térmica é o componente óptico responsável por focar a radiação infravermelha (calor) no sensor. Diferente de lentes ópticas comuns (vidro), o vidro convencional é opaco à radiação de 8-14 μm — por isso lentes térmicas exigem materiais especiais, sendo o germânio o padrão da indústria.

Material: por que germânio

O germânio se tornou o material padrão para lentes LWIR (8-14 μm) por três motivos: alta transmissão nessa faixa espectral, alto índice de refração (cerca de 4,0), que permite focar a radiação com distâncias focais mais curtas, e estabilidade química em condições ambientais adversas. Como é um material frágil e sensível a arranhões, lentes de germânio recebem revestimentos de proteção como DLC (Diamond-Like Carbon) e camadas antirreflexivas otimizadas para o infravermelho.

Outros materiais usados em aplicações específicas incluem seleneto de zinco (ZnSe) e silício, mas o germânio continua sendo a escolha predominante em câmeras térmicas comerciais e de segurança.

Tabela: Comparação de Materiais para Lentes Térmicas

Material	Transmissão IR	Índice de Refração	Uso Típico
Germânio (Ge)	8 – 14 μm (LWIR)	$\approx 4,0$ (alto)	Padrão da indústria; câmeras comerciais e de segurança
Seleneto de Zinco (ZnSe)	0,5 – 22 μm (ampla)	$\approx 2,4$	Sistemas a laser e ópticas de alta potência
Silício (Si)	1,2 – 7 μm (MWIR)	$\approx 3,4$	Lentes de baixo custo para aplicações específicas

Tabela: Impacto do F-number na Captação de Energia Térmica

Abertura (f/#)	Captação Relativa de Energia	Observação
f/1.0	100% (referência)	Máxima sensibilidade; padrão em lentes térmicas premium
f/1.2	$\approx 70\%$	Boa sensibilidade, ligeiramente inferior ao f/1.0
f/1.4	$\approx 51\%$	Sensibilidade reduzida; comum em lentes de menor custo
f/2.0	$\approx 25\%$	Baixa captação de energia; exige cenas de maior contraste térmico

Parâmetros que definem uma lente térmica

Parâmetro	O que define	Impacto prático
Distância Focal (mm)	Ângulo de visão e nível de "zoom" óptico	Focal curta = campo de visão amplo; focal longa = alcance maior, campo mais estreito
Abertura / F-number (f/#)	Razão entre distância focal e diâmetro da abertura	Quanto menor o f/#, mais radiação térmica chega ao sensor (mais sensibilidade)

Parâmetro	O que define	Impacto prático
Campo de Visão (FOV)	Ângulo horizontal/vertical coberto pela lente	Definido pela combinação da distância focal com o tamanho do sensor
Material	Tipo de vidro especial (germânio, ZnSe, silício)	Determina transmissão, custo e resistência mecânica da lente

Por que isso importa na prática

- Uma lente f/1.0 tem abertura igual à distância focal — captando o dobro de energia térmica que uma lente f/1.4, resultando em imagens mais sensíveis com o mesmo sensor;
- Lentes de distância focal curta (grande angular) são ideais para monitorar áreas amplas e próximas; lentes de distância focal longa (telefoto) são ideais para detecção a longa distância, como em perímetros extensos;
- Sistemas de zoom motorizado combinam múltiplas distâncias focais em uma única lente, permitindo ajustar o alcance sem trocar o equipamento.

Por que isso importa na hora da compra

A lente térmica, junto com o sensor, define o alcance real de detecção da câmera. Uma lente de baixa qualidade ou material inadequado pode desperdiçar todo o potencial de um sensor de alta sensibilidade (NETD baixo) — por isso lente e sensor devem sempre ser avaliados como um conjunto, nunca isoladamente.

Fontes técnicas

- Workswell — "Germanium lens & LWIR Optics for Thermal Cameras and Modules": <https://workswell.eu/germanium-lens-lwir-optics-thermal-cameras-modules/>
- Workswell — "Why Germanium Lenses Matter in LWIR Thermal Modules": <https://workswell.eu/why-germanium-lenses-matter-in-lwir-thermal-modules/>
- Infiniti Electro-Optics — "What is F-Stop and Why is the F-Number of the Lens So Important for Thermal Infrared Cameras?": <https://www.infinitioptics.com/whitepapers/what-f-stop-why-f-number-lens-so-important-thermal-infrared-cameras>
- Shalom EO — "What are Thermal Camera Lenses" (parâmetros ópticos e materiais): <https://www.shalomeo.com/what-are-thermal-camera-lenses-shalomeo.html>

Glossário

- **Bolômetro:** dispositivo microscópico sensível à radiação térmica que muda sua resistência elétrica conforme a temperatura; é o elemento básico de detecção de um sensor térmico não-resfriado (uncooled).
- **Pixel (do sensor):** é o menor elemento sensor de um detector térmico, responsável por converter radiação infravermelha em sinal elétrico proporcional à temperatura.
- **Pixel Pitch:** distância entre o centro de um pixel e o centro do pixel vizinho no sensor; determina o Pixel Size.
- **VOx:** óxido de vanádio, material sensível usado na fabricação de microbolômetros não-resfriados (uncooled).
- **SWIR:** infravermelho de onda curta, faixa de 0,9-1,7 μm , também chamado de infravermelho "refletido".
- **MWIR:** infravermelho de onda média, faixa de 3-5 μm , usada para detectar motores, gases quentes e chamas.
- **LWIR:** infravermelho de onda longa, faixa de 8-14 μm , a mais usada em câmeras térmicas de segurança e industriais.
- **NETD:** Noise Equivalent Temperature Difference — menor diferença de temperatura que o sensor consegue distinguir do ruído, medida em milliKelvin (mK).
- **milliKelvin (mK):** unidade de temperatura equivalente a 1/1000 de um Kelvin; usada para expressar o NETD.
- **Corpo Negro (Black Body):** dispositivo de calibração que emite radiação térmica uniforme e conhecida, usado para medir o NETD de um sensor.
- **F-number (f/#):** razão entre a distância focal de uma lente e o diâmetro de sua abertura; determina quanta energia térmica chega ao sensor.
- **Distância Focal:** distância entre o centro óptico da lente e o sensor quando a imagem está em foco no infinito; determina o campo de visão.
- **FOV (Field of View / Campo de Visão):** ângulo, medido em graus (horizontal e vertical), que a lente consegue capturar da cena.
- **Germânio:** elemento químico (Ge) usado como material padrão em lentes térmicas LWIR por sua alta transmissão nessa faixa espectral.
- **VCA:** Video Content Analytics — conjunto de algoritmos de análise de vídeo (detecção de intrusão, cruzamento de linha, etc.) aplicados sobre a imagem térmica ou óptica.
- **Crítérios de Johnson (DRI):** padrão que define as distâncias de Detecção, Reconhecimento e Identificação (DRI) de um alvo por uma câmera térmica, com base no número mínimo de pixels sobre o alvo.

Resumo comparativo

Parâmetro	O que mede	Unidade	Regra prática
Pixel Size	Tamanho físico de cada célula do sensor	micrômetros (μm)	Menor = sensor mais compacto, mesma qualidade com tecnologia moderna
Spectral Range	Faixa de comprimento de onda captada	micrômetros (μm)	8-14 μm (LWIR) = ideal para detectar calor de pessoas, veículos e incêndios
Sensitivity (NETD)	Menor diferença de temperatura detectável	milliKelvin (mK)	Menor = mais sensível, imagem mais limpa, menos alarmes falsos
Resolução	Número de pixels do sensor (largura x altura)	pixels (ex: 640x512)	Mais pixels = mais pontos de medição real e maior alcance de detecção
Lente	Componente óptico que foca o calor no	mm (focal) / f/#	Focal curta = campo amplo; f/# baixo

Parâmetro	O que mede	Unidade	Regra prática
	sensor	(abertura)	= mais sensibilidade; germânio é o material padrão

Este conteúdo tem fins educativos: Pixel Size, Spectral Range, Sensitivity (NETD), Resolução e Lente são especificações padrão da indústria de imagem térmica e devem ser sempre analisadas em conjunto, nunca isoladamente, na hora de avaliar a qualidade real de uma câmera térmica.

