

REVISÃO SOBRE SENSORES BASEADOS EM FIBRA ÓPTICA PARA A DETECÇÃO DE METANO

Igor Rocha Santana¹; Jessica Guerreiro Santos Ramalho²; William Emanuel Silva Santos Viana ²; Valéria Loureiro da Silva ²

¹ Graduando em Engenharia elétrica; Iniciação Tecnológica – CNPQ; igor.santana@fbter.org.br

² Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador-BA; valeria.dasilva@fieb.org.br

RESUMO

A detecção quantitativa de gases e vapores ainda é uma tarefa desafiadora, principalmente em ambientes extremos. O presente trabalho estuda as principais técnicas ópticas para detecção de metano, um gás explosivo, inodoro, tóxico e incompatível com outras tecnologias de sensoriamento. Este trabalho apresenta uma revisão dos principais mecanismos e fenômenos que possibilitam a detecção de gases e compara o desempenho entre as principais técnicas ópticas para detecção do gás descritas nos artigos de revisão encontrados.

PALAVRAS-CHAVE: Detecção de gases; Sensores; Sensores ópticos; Sensores baseados em fibra óptica

1. INTRODUÇÃO

Historicamente diversas tecnologias vêm sendo aplicadas na construção de sensores para gases, cada nova técnica trazendo consigo aperfeiçoamentos no que diz respeito ao desempenho e confiabilidade dos mesmos. Para tal detecção inicialmente os pássaros de pequeno porte - como canários - foram utilizados (sua morte indicava a ocorrência de níveis tóxicos de gases e vapores no ambiente), para substituí-los foram desenvolvidos sensores baseados na oxidação catalítica, mas os mesmos só eram capazes de quantificar baixas concentrações e somente de gases inflamáveis⁴. Também segundo HONEYWELL, os sensores eletroquímicos são os mais utilizados e foram os primeiros a determinar de forma quantitativa a concentração de uma gama de substâncias. Essa técnica de detecção costuma envolver um processo de oxidação que desgasta o elemento sensor e reduz sua linearidade ao longo do tempo. Além disso, a sensibilidade dos sensores oxidação catalítica e eletroquímicos não é adequada para detecção de gases em baixas concentrações³.

Daí surge a necessidade de desenvolver e explorar novas técnicas capazes de agregar mais confiabilidade, precisão e múltiplas detecções. Os sensores baseados em fibra óptica surgiram no final da década de 70¹ já como opções de alta precisão e confiabilidade, imunes a perturbações eletromagnéticas, resistentes a ambientes extremos com altas/baixas temperaturas e pressão. Além disso, esses sensores são interessantes para ambientes explosivos pois por não requererem sinais elétricos na região sensorial². Diversos segmentos (como o setor da aeronáutica, engenharia civil e aeroespacial, medicina etc.) vem adotando esse tipo de sensor e assimilando seus avanços². Essencialmente a fibra óptica é um guia de onda cilíndrico composto por um dielétrico (chamado de núcleo) e protegido por uma casca - normalmente feita de plástico ou outros materiais poliméricos. As fibras ópticas podem operar na região do infravermelho, e por isso gases com picos de absorção nessa região (como CO, CO₂, NO, NH₃ e CH₄) são compatíveis com essa tecnologia. Dentre esses, o metano é um dos gases que desperta maior interesse, presente em diversos processos industriais (como na mineração de carvão, petróleo e gás, indústria química etc.). Ele é tóxico, inodoro e incolor e por ser altamente explosivo dependendo de sua concentração (sendo o limite inferior de explosividade igual a 5% em volume para concentrações de 4,5 a 15%) é incompatível com sensores que podem gerar faísca. Por isso o presente trabalho objetiva compilar os principais tipos de sensores baseados em fibra óptica - que por não empregarem dispositivos eletrônicos como elemento sensor reduzem a probabilidade de explosão - na detecção do metano.

2. METODOLOGIA

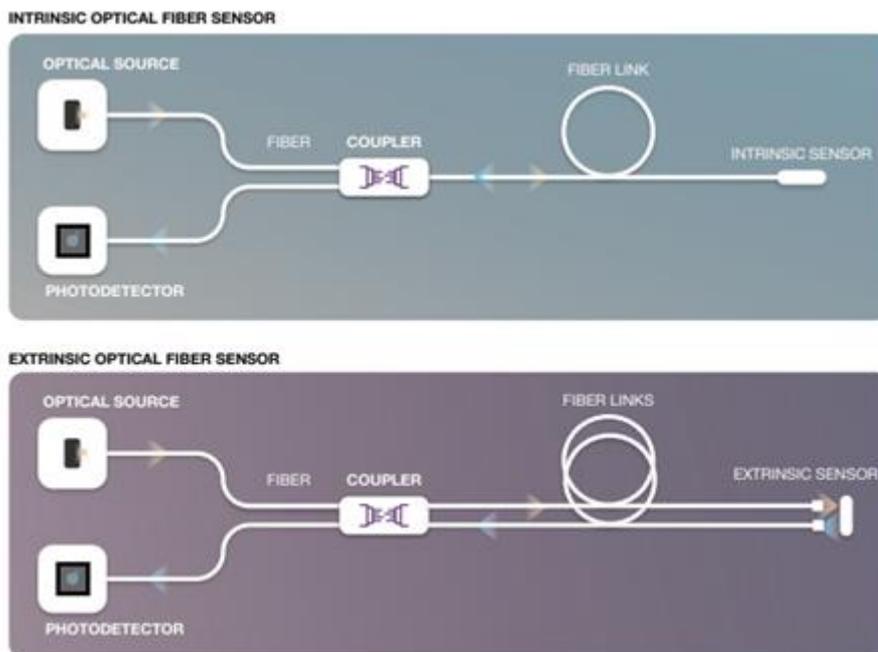
Através de uma pesquisa bibliográfica e exploratória, realizamos o levantamento do estado atual das tecnologias empregadas na detecção de gases. Na construção do presente trabalho, o levantamento bibliográfico dos principais autores e o compilado das análises comparativas mais recentes salientou a detecção de metano, dado seu papel proeminente para o agravamento da crise climática, alta explosividade e toxicidade. Foram encontrados diversos artigos, dentre os quais, três artigos de revisão se destacaram. Um resumo dos principais tipos de sensores de fibra óptica utilizados na detecção de gases é apresentada a seguir.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A implementação dos sensores baseados em fibra óptica pode acontecer da forma intrínseca ou extrínseca (Figura 1), as aplicações extrínsecas utilizam a fibra óptica apenas como guia de onda, tanto no acoplamento da fonte de

luz no dispositivo sensor como no transporte do sinal luminoso para o detector - métodos de espectroscopia e fluorescência combinados com pontas de fibra óptica fazem esse uso. A absorção foi a primeira técnica desenvolvida com a espectroscopia, e ainda hoje é uma das mais comuns. Nela a luz emitida interage com a amostra que por sua vez absorve parte da energia. A análise da luz não absorvida, capturada por uma segunda fibra ou pela mesma fibra com auxílio de um espelho refletor, dá informação sobre o meio sensoreado.

Figura 1 – Sensores ópticos intrínsecos e extrínsecos. Fonte: PENDÃO et al. ²



A revisão de SHEMSHAD et al. apresenta um compilado dos principais sensores de fibra óptica extrínsecos com variações nas técnicas de absorção, resumida na tabela 2. Os principais métodos para a detecção de metano através de sensores ópticos extrínsecos, utilizam fontes de luz operam entre o infravermelho próximo (760 nm até 1500 nm) e o médio (1500 nm até 3000 nm). Essas técnicas requerem caminhos ópticos de maiores que 10 cm de comprimento. O menor limite inferior de detecção encontrado foi de 0,000003% (0.03 ppm) em algumas implementações enquanto outras só mensuram a partir de 5%.

Tabela 2 – Sensores extrínsecos (adaptado de SHEMSHAD et al.)

Técnica	Comprimento de onda (nm)	Limite inferior de detecção	Fonte de luz	Caminho óptico (cm)
Absorção direta	1645 – 1700	0,001% ~ 5%;	TDL; DFB; ECDL/DFB; LED; DFB/He-Ne; LD	10 ~ 3200
Modulação do comprimento de onda	1330 - 1666	0,000003% ~ 1,4%	DFB; LED 2 km FO; LED 10 km; DL; TDL; ECDL	10 ~ 66

TDL – Tunable Diode Laser
DFB - Distributed-Feedback Laser
ECDL - Tuneable External Cavity Diode Laser

LED - Light-Emitting Diode
LD - Laser Diode

Nos sensores intrínsecos além da fibra óptica ser utilizada para transmissão de sinais a mesma também é o elemento sensor, para tal as mesmas possuem especificidades construtivas e/ou passam por processos que modificam sua resposta a estímulos específicos. A tabela 3 compara algumas das técnicas construtivas que podem ser exploradas nessas aplicações. Detectores desse tipo exploram fenômenos físicos onde a luz transmitida no interior fibra é, de alguma forma, perturbada pela presença da amostra.

Tabela 3 – Sensores intrínsecos

Técnica	Tipo de guia de onda e mecanismo de sensibilidade seletiva	Sensibilidade nm/%	Comprimento de onda (µm)	Limite inferior de detecção	Escala de operação (%)
Campo Evanescente ³	Plasmônica híbrida; Membrana suspensa; Strip; Ridge	~ 0,0715	3,390 ~ 3,392	~ 0,0155%	0,2 ~ 0,47
Ressonância Plasmônica de Superfície ^{3,5}	Grafeno + CNTs e PMMA; Grafeno + Ag; Pt/ZnO	0,01 ~ 1000	0,45 ~ 1,538	0,0007% ~ 0,15%	0 ~ 3,5
	Cryptophane E; Grafeno + Ag; Cryptophane A	-1,6 ~ 6,39	1,55 ~ UV	0,015% ~ 0,1%;	0 ~ 5
	LPG + Cryptophane A	2,5 ~ 3,39	1,545 ~ 1,55	0,015% ~ 0,2%	0 ~ 3,5

As técnicas mais simples se baseiam na interação do campo evanescente com o meio externo. Nesses casos fontes de luz no infravermelho médio ou próximo³ são exploradas para alcançar baixos limites de detecção - 0,016% ou 155 ppm. Objetivando a otimização da sensibilidade e o alcance da detecção de quantidades cada vez menores, outras técnicas como a Ressonância Plasmônica (onde um filme metálico é depositado na interface do núcleo e produz um segundo outro campo elétrico ressonante ao campo evanescente) são agregadas – permitindo a operação no visível ou infravermelho próximo. A Ressonância Plasmônica pode ser combinada também com o uso de fibras microestruturadas com núcleo óco^{3,5} ou com fibras com grades longas (LPG – *long period grating*) com a grade exposta ao metano, já que a deposição de partículas na superfície amplifica os efeitos vistos ou agrega mais seletividade ao processo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de haver exceções os sensores extrínsecos apresentam um valor médio do limite inferior de detecção de 0,23%, necessitam de fontes no infravermelho médio e células de gás com no mínimo 10 cm de comprimento. Para aplicações sem restrições de espaço ou onde concentrações de até 1% sejam irrelevantes, esses figuram como boas opções. Em contraponto as soluções intrínsecas apresentam um limite inferior médio de 0,08%, entre esses os sensores baseados na ressonância plasmônica de superfície possuem uma maior sensibilidade e atingem menores limites inferiores de detecção. A maioria dos sensores intrínsecos operam de modo a saturar próximo ao nível de explosividade do metano, sendo assim extremamente precisos para detectar concentrações pequenas.

Agradecimentos

Agradeço ao CNPq, Embrapii, Shell e ao projeto Softrobots por possibilitar a realização do presente trabalho.

5. REFERÊNCIAS

¹BUTT, M.A.; VORONKOV, G.S.; GRAKHOVA, E.P.; KUTLUYAROV, R.V.; KAZANSKIY, N.L.; KHONINA, S.N. Environmental Monitoring: A Comprehensive Review on Optical Waveguide and Fiber-Based Sensor. **Biosensors**, v.12, p. 1038, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/bios12111038>. Acesso em: 18 jan. 2023.

²PENDÃO, C.; SILVA, I. Optical Fiber Sensors and Sensing Networks: Overview of the Main Principles and Applications. **Sensors**, v. 22, p. 7554, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s22197554>. Acesso em: 18 jan. 2023.

³HEMESHAD, Javad; AMINOSSADATI, Saied Mostafa; KIZIL, Mehmet Siddik. A review of developments in near infrared methane detection based on tunable diode laser. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 1711-172, p. 77, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2012.06.018>. Acesso em: 18 jan. 2023.

⁴HONEYWELL. The evolution and challenges of gas detection technologies. *In*: **WHITE PAPER / GAS DETECTION**. [S. l.], s.n. Disponível em: <https://sps.honeywell.com/content/dam/honeywell-edam/sps/common/en-us/support/software-and-downloads/documents/sps-hgas-the-evolution-and-challenges-of-gas-detection-technologies.pdf>. Acesso em: 1 fev. 2023.

⁵ALLSOP, Thomas; NEAL, Ronald. A Review: Application and Implementation of Optic Fibre Sensors for Gas Detection. **Sensors**, v.21, p. 6755, 2021.