

7 Referências bibliográficas

- [1] Grattan, K. T. V., and Meggitt, B. T., **Optical Fiber Sensor Technology**, *Hapman & Hall*, 1995.
- [2] Migani, A. G., and Lefèvre, H. C., *Proceedings of The 14th International Conference on Optical Fiber Sensor*, SPIE Vol. 4185, Venice, Italy, 11-13 October 2000.
- [3] Ferreira, A. P., Werneck, M. M. e Ribeiro, R. M., **Aerobical Pathogen Detection by Evanescent Wave Fiber Optical Sensor**, *Biotechnology Techniques*, 1999.
- [4] Krohn, D. A., **Fiber Optic Sensors**, *International Society for Measurement and Control, ISA*, 2000.
- [5] Kersey, A. D., *et al.*, **Fiber Grating sensors**, *J. Lightwave Technol.*, vol.15, no.8, pp. 1442-1463, 1997.
- [6] Friebele, E. J., **Fiber Bragg Grating Strain Sensors: Present and Future Applications in Smart Structures**, *Optics and Photonics News*, August
- [7] Raman, K., **Fiber Bragg Grating**, *San Diego: Academic Press*, 1999.
- [8] Othonos, A., Kalli, K., **Fiber Bragg Grating – Fundamentals and Applications in Telecommunications and Sensing**, *Norwood, MA: Artech House, Inc.*, 1999.
- [9] Wei, C. Y., James S. W., Ye, C. C., Tatam, R. P. e Irving, P. E., **Application issues using fiber Bragg gratings as strain sensors in fiber composite**, *Strain* Vol. 36(3), pp. 143-150, 2000.
- [10] Llerena, R. W. A. **Desenvolvimento de Transdutores a Fibra Óptica para Completação Inteligente de Poços**. Rio de Janeiro, 2004. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- [11] Morikawa, S. R. K., Valente, L. C. G., Braga, A. M. B., Ribeiro, A. S. e Regazzi, R. D., **Triaxial Bragg Grating Accelerometer**, *Proceedings of The 15th Optical Fiber Sensors Conference - OFS-2002*, 95-98, 2002.
- [12] Rosas, B. P., **Sensor discriminativo a fibra óptica para detecção de vazamento em tanques jaquetados**. Rio de Janeiro, 2003. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- [13] Hill, K. O., Fujii, Y., Johnson, D. C. e Kawasaki, B. S., **Photosensitivity in optical fiber waveguides**, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 32, pp. 647-649, 1978;
- [14] Meltz, G., Morey, W. W. e Glenn, W. H., **Formation of Bragg Gratings in Optical Fibres by ransverse Holographic Method**, *Opt. Lett.*, vol. 14, no. 15, pp. 823-825, 1989
- [15] Davis, M. A.; Bellemore, D. G.; Berkoff, T. A.; Kersey, A. D., **Desing and Performance of a Fiber Bragg Gratings Distributed Strain Sensor System**, *SPIE*, vol. 2446, pp. 227-235, 1995;
- [16] Friebele E. J., **Fiber Bragg Grating Strain Sensors: Present e Future Applications in Smart Structures**, *Optics and Photonics News*, pp. 33-37, agosto 1998.
- [17] Giles, C. R., Mizrahi, V., **Low-loss add/drop multiplexers for WDM lightwave networks**, *Proceeding IOOC'95*, Hong Kong, paper ThC2-1, 1995.
- [18] Agrawal, G. P., **Fiber-Optic Communication Systems**, *Wiley*, 1992.

- [19] Jackson, D. J., Ribeiro, A. B. L., Reekie, L., Archambault, J. L., **Simple multiplexing schemes for a fiber-optics grating sensor network**, *Optics Letters*, vol. 18, pp. 1734, 1992.
- [20] Cavaleiro, P. M., Araújo, F. M., Ferreira, L. A., Santos, J. L., Farahi, F., **Simultaneous measurement of strain and temperature using Bragg grating written in Germanosilicate and Boron-codoped Germanosilicate fibers**, *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 11, pp. 1635-1637, 1999.
- [21] Huang, S., Ohn, M. M., LeBlanc, M., Lee, R., Measures, R. M., **Fiber optics integrating distributed strain sensor**, *Proceeding SPICE*, vol. 2294, pp. 81, 1994.
- [22] Leiderman, R., Matos, C. J. S., Valente, L. C. G., Braga, A. M. B. e Margulis, W., **Interrogation methods for Fiber Bragg Grating Sensor**, *SPIE*, vol. 3666, pp. 554-560, 1999.
- [23] Nunes, L. C. S., Valente, L. C. G. e Braga, A. M. B., **Analysis of a Demodulation System for Fiber Bragg Grating Sensors Using Two Fixed Filters**, *Optics and Lasers Engineering*, (aceito), 2004.
- [24] Valente, L. C. G., Braga, A. M. B., Ribeiro, A. S., Regazzi, R. D., Ecke, W., Chojetzki, C. e Willsch, R., **Combined Time and Wavelength Multiplexing Technique of Fiber Grating Sensor Arrays Using Commercial OTDR Equipment**, *IEEE Sensors Journal*, 3, 1, 31-34, 2003.
- [25] PUC-Rio (Rio de Janeiro). Carla C. Kato, Valente L. C. G., Braga A. M. B., **Sistema de Análise da Resposta Espectral de Conjuntos de Sensores a Rede de Bragg**, PI 0305829-8, dez. 2003.
- [26] PUC-Rio, Gavea Sensors (Rio de Janeiro). Bruno S. Oliviere *et al.*, **Sistema De Sensoriamento Baseado em Redes de Bragg Utilizando Multiplexação do Comprimento de Onda e Multiplexação no Tempo**. BR n. PI0401007-8, abr. 2004.
- [27] Alcatel Cable, Clichy Cedex (France). André Tardy. **Method of Detecting and/or Measuring Physical magnitudes using a distributed sensor**. US n. US005684297, 15 nov. 1995, 4 nov. 1997.
- [28] The United States of America as represented by the secretary of the Navy (Washington, DC). Alan D. Kersey. **Methods and apparatus for distributed optical fiber sensing of strain or multiple parameters**. US n. US005757487, 30 jan. 1997, 26 maio 1998.
- [29] Corning Incorporated, Corning (N.Y). Mark F. Krol. **Dual wavelength interrogation sensor employing long-period grating**. US n. US006075907, 8 set. 1998, 13 jun. 2000.
- [30] David J. F. Cooper, Peter W. E. Smith (Toronto). **Method and device for time domain demultiplexing of serial fiber Bragg grating sensor arrays**. US n. US006212306B1, 7 out. 1999, 3 abr. 2001.
- [31] The United States of America as represented by the secretary of the Navy (Washington, DC). Alan D. Kersey. **Optical sensor system utilizing Bragg grating sensors**. US n. US005680489, 28 jun. 1996, 21 out. 1997.
- [32] Haykin, S. **Communication Systems**, Wiley, 3rd ed.
- [33] **Guia para Expressão da Incerteza de Medição**. INMETRO, Agosto, 2003
- [34] Nunes, L. C. **Análise da Técnica de Demodulação baseada em Filtros Fixos na interrogação de Sensores a Rede de Bragg em Fibras Ópticas**. Rio de Janeiro, 2004. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Mecânica, Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- [35] Derickson, D. **Fiber Optic Test and Measurement**, Upper Saddle River, New Jersey, *Prentice Hall PTR*, 1998.
- [36] Hecht, Jeff. **Understanding Fiber Optics**. *Prentice Hall* 2nd ed., 1993.
- [37] Valente, L. C. G., Triques, A. L. C., Torres, P., Linares, L. C. B. and Weid, J. P. **Optical fiber polarization delay line based on unchirped fiber Bragg gratings** *Journal of Microwaves and Optoelectronics*, Vol. 3, pp 80-86, April 2004.

- [38] Kaarls, R. **BIPM Proc. – Verb. Com. Int. Poids et Mesures 49**, A1 – A12 (em Francês) (1980); Giacomo, P. **Metrologia 17**, 73 – 74 (em Inglês).
- [39] Burns, W. K. **Degree of Polarization in the Lyot Depolarizer** *Journal of Lightwave Technology*, **Vol. LT-1**, No. 3, pp 475-479, Setembro 1983.
- [40] Bohm, K. *et. al* **Performance of Lyot Depolarizers with Birefringent Single-Mode Fibers** *Journal of Lightwave Technology*, **Vol. LT-1**, No. 1, pp 71-74, Março 1983.
- [41] Wang, J. S., Costelloe, J. R., Stolen, R. H. **Reduction of the Degree of Polarization of a Laser Diode with a Fiber Lyot Depolarizer** *IEEE Photonics Technology Letters*, **Vol. 11**, No. 11, pp 1449-1451, Novembro 1999.
- [42] Oppenheim, A. V. and Willsky, A. S **Signal and Systems** *Prentice Hall*, 2nd ed, 1996.
- [43] Nunes, L. C., Valente L. C. and Braga, A. **Analysis of a demodulation system for Fiber Bragg Grating sensors using two fixed filters** *Optics and Lasers in Engineering*, **Vol 42**, pp. 529-542, Novembro 2004.

Apêndice A

Técnicas de Multiplexação

A discussão destas duas formas de processamento de sinal auxiliará a melhor compreensão da técnica de interrogação de sensores a rede de Bragg mostrada neste trabalho, especialmente para leitores que não estão familiarizados com seus princípios de funcionamento.

Uma importante forma de processamento de sinal é a multiplexação, onde um número de canais independentes pode ser combinado em um único sinal capaz de ser transmitido por um meio físico comum. Frequências de voz transmitidas através de sistemas telefônicos, por exemplo, excursionam de 0 a 4000 Hz [32]. Para transmitir vários destes sinais por um mesmo canal, eles devem ser agrupados de forma que não interfiram uns com outros para permitir a recuperação da informação na recepção. Isto é alcançado separando os sinais na frequência e/ou no tempo. A técnica de separação dos sinais na frequência é conhecida como FDM (Multiplexação por divisão de Frequência – *Frequency Division Multiplex*), e a técnica de separação dos sinais no tempo é conhecida como TDM (Multiplexação por divisão de Tempo – *Time Division Multiplex*).

Multiplexação por divisão de Tempo

Uma importante característica do processo de amostragem é a conservação do tempo, isto é, a transmissão de uma mensagem amostrada compromete somente uma fração do intervalo de amostragem em uma base periódica, e deste modo o intervalo de tempo entre amostras adjacentes está livre para ser usado por outra fonte de mensagem independente compartilhando a mesma base periódica [32, 42]. Com isso se obtém um sistema de multiplexação por divisão de tempo (*Time-division multiplex – TDM*), o qual permite a utilização de um canal comum de comunicação por várias fontes de mensagem independentes sem interferirem entre si. O processo de amostragem é o processo básico para todos os sistemas de modulação de pulso, sendo o TDM muito utilizado em sistemas digitais.

Um exemplo de implementação do TDM é em sistemas digitais ópticos, onde vários sinais modulados a uma taxa de bit B , que usam a mesma frequência portadora, são multiplexados opticamente para formar um novo sinal óptico a uma taxa de transmissão NB , onde N é o número de canais. A figura A.1 mostra um exemplo de multiplexação óptica para 4 canais. Esta multiplexação óptica é feita inserindo fibras de tamanhos diferentes e suficientes para dar retardos que possibilitam a formação de um sinal, evitando a superposição dos pulsos quando agrupados em uma mesma fibra através de um combinador ou acoplador.

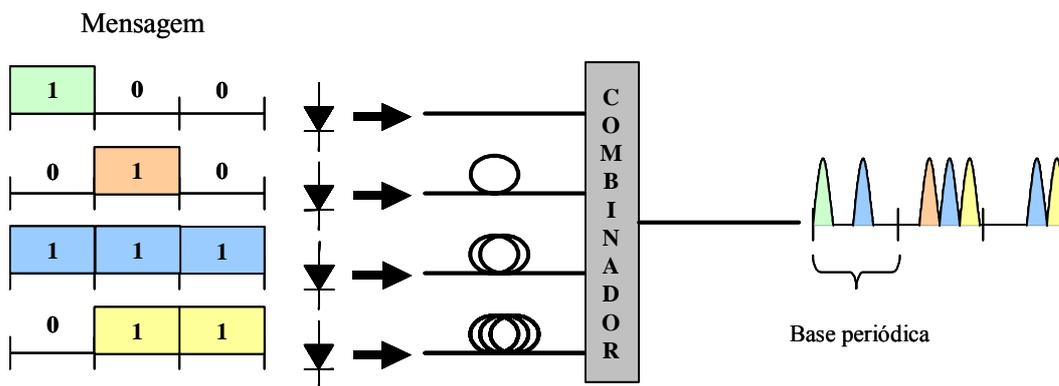


Figura A.1 - Multiplexação por divisão do tempo

Multiplexação por divisão de Frequência

É o método pelo qual vários canais de informação são multiplexados em um único canal, dado pela associação de cada um destes canais a um portadora diferente [32]. Para tornar isto possível, cada canal de origem ou banda base modula uma portadora de uma frequência diferente em amplitude, frequência ou fase. Cada nova portadora modulada será referida como canal intermediário. Cada um desses canais intermediários é, então, combinado em um canal de transmissão simples, geralmente aplicando-o a um circuito combinador, não muito diferente de um divisor de potências. Isto resulta em um sinal composto, onde cada canal é identificado como uma banda separada de frequências, e que pode ser identificado por uma frequência portadora que pode ser separada através de filtros. A figura A.2 mostra uma multiplexação de 3 canais de telefone (faixa de frequência original de 0 a 4kHz) com portadoras, $fp1$, $fp2$ e $fp3$. Nota-se que cada canal continua com um espaço equivalente à sua largura de banda original (4kHz), porém, deslocado em frequência no espectro.

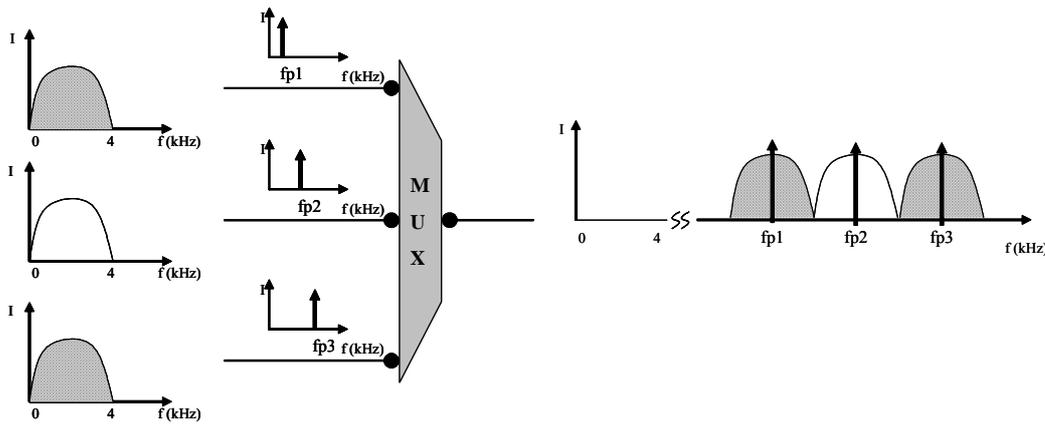


Figura A.2 Multiplexação por divisão de Frequência

A variação do FDM para fibras ópticas é conhecida com WDM (Wavelength Division Multiplexing) [18], isso se dá por não ser usado o termo frequência em óptica, mas sim comprimento de onda.

O WDM funciona como o FDM dentro de uma porção óptica do espectro eletromagnético. Várias portadoras ópticas são moduladas usando sinais elétricos independentes (podem ser usadas as técnicas TDM e FDM no domínio elétrico) e depois são transmitidas através de uma mesma fibra, figura A.3. FDM óptico tem o potencial de exploração de uma largura de banda ampla oferecida pela fibra óptica, por onde centenas de canais podem ser transmitidas com separação entre eles de alguns GHz.

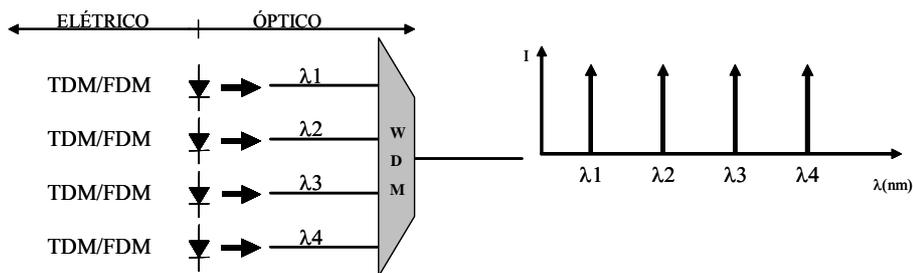


Figura A.3 Multiplexação por divisão Comprimento de Onda

A realização dessa alta capacidade de transmissão demandou o desenvolvimento de muitos componentes de alto desempenho como lasers semicondutores sintonizáveis com realimentação distribuída (DFB), multiplexadores e demultiplexadores. Muitos desses componentes também são utilizados para sistemas de sensoriamento óptico, [26].

Apêndice B

Incerteza

Na maioria das vezes o valor verdadeiro da medição não é conhecido, e não faz sentido referir-se ao erro, mas sim a uma faixa em torno do valor medido, onde se supõe que o valor verdadeiro esteja. Esta faixa é definida como incerteza de uma medição.

Segundo o Guia para Expressão da Incerteza de Medição [33] são considerados dois métodos de avaliação de incerteza: Incerteza Tipo A e Incerteza Tipo B. O método de avaliação de incerteza é chamado de Avaliação do tipo A quando é feito pela análise estatística de uma série de observações. Entretanto, em muitos casos, as informações estão disponíveis de forma incompleta, sem caracterização estatística necessária, podendo inclusive estar disponíveis de forma não científica e subjetiva. A incerteza neste caso é chamada de tipo B.

O propósito da classificação Tipo A e Tipo B é de indicar duas maneiras diferentes de avaliar as componentes da incerteza e não se propõe a indicar que haja qualquer diferença na natureza dos componentes resultando dois tipos de avaliação. Ambos os tipos de avaliação são baseados em distribuições de probabilidade e as componentes de incerteza resultantes de cada tipo são quantificadas por variância ou desvios padrão. A variância é definida na equação B.1.

$$s^2 = \sum (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1), \quad \text{onde} \quad \bar{x} = \sum x_i / n \quad (\text{B.1})$$

A variância estatisticamente estimada ($u^2 = s^2$) é calculada a partir de uma série de observações repetidas, caracterizando uma componente de incerteza obtida de uma avaliação do Tipo A. O desvio padrão estimado ($u = s$), raiz quadrada positiva da variância estimada, é por conveniência denominado *incerteza padrão do Tipo A*. Para uma estimativa de uma grandeza de entrada que não tenha sido obtida através de uma avaliação do Tipo A, a variância estimada

(u^2) associada ou a incerteza padrão é avaliada por julgamento científico, baseando-se em todas as informações disponíveis sobre a possível variabilidade da grandeza de entrada. O desvio padrão estimado (u) neste caso é conhecido como *incerteza padrão do Tipo B*. Assim, uma incerteza padrão do Tipo A é obtida a partir de uma função densidade de probabilidade definida pelas amostras observadas, enquanto que uma incerteza padrão do Tipo B é estimada de uma suposta função densidade de probabilidade, baseada no grau de credibilidade de que um evento vá ocorrer.

Muitas vezes, o resultado de uma medição é alcançado por meio de valores de várias outras grandezas. Neste caso, a incerteza padrão estimada é denominada *incerteza padrão combinada* (u_c). Ela é calculada a partir da raiz quadrada positiva de uma soma de termos, que constituem todas as componentes de variância e covariância de todas as grandezas, independente de como tenham sido avaliadas (Tipo A ou Tipo B), e ponderadas de acordo com quanto o resultado da medição varia com mudanças nestas grandezas (*sensibilidade*).

Este Guia [33] ainda define *incerteza expandida* (U) com a finalidade de fornecer um resultado em torno do resultado de uma medição, com o qual se espera abranger uma grande fração da distribuição de valores que poderiam razoavelmente ser atribuído ao mensurando, equação B.2. A incerteza expandida é obtida multiplicando-se a incerteza padrão combinada por um *fator de abrangência* (k), equação B.3. A escolha deste fator é baseada no nível de confiança ou probabilidade de abrangência requerida do intervalo.

$$x = \bar{x} \pm U \quad (\text{B.2})$$

$$U = k.u \quad (\text{B.3})$$

A recomendação INC-1 (1980) [38] não especifica como a relação entre o fator de abrangência e o nível de confiabilidade deve ser estabelecida. Entretanto, uma aproximação mais simples é freqüentemente adequada para situações onde a distribuição de probabilidade é aproximadamente normal e o número de amostras é grande suficiente. Na prática, para avaliação do tipo A, o modelo gaussiano é uma boa aproximação do modelo estatístico de distribuição dos erros. Quando este for o caso, pode-se supor que, tomando $k = 2$, é produzido um intervalo com um nível de confiança de aproximadamente 95%, e que, tomando $k = 3$, esta nível

eleva-se a 99% de confiabilidade. Quando o método de avaliação de incerteza é do Tipo B geralmente são utilizados os modelos de distribuições retangular e triangular, onde o valor de k passa a ser considerado $\sqrt{3}$ e $2\sqrt{3}$ respectivamente.

No anexo serão descritas algumas definições utilizadas nos termos metrológicos segundo o Guia Expressão da Incerteza de Medição.

Calibração

Calibração de um instrumento é o resultado da comparação de seu desempenho com o de um instrumento padrão, reportando-se indiretamente a escala da grandeza em questão. Deve-se observar que as condições de calibração devem ser rigorosamente iguais às de utilização do instrumento. Isto não é feito na maioria das vezes, resultando em discrepâncias em relação aos valores de calibração, aumentando, portanto a incerteza da medição. Às vezes este fenômeno é interpretado como degradação do desempenho do sistema de medição, indicando valores bastante afastados dos supostamente verdadeiros. Curvas podem então ser fornecidas, relacionando o valor indicado com o valor do padrão.

Como o número de medições realizadas na calibração é normalmente pequeno, existe necessidade de interpolação para valores não testados. Curvas podem ser ajustadas aos pontos experimentais pelo método dos mínimos quadrados, representando um desempenho médio do sistema de medições na dada faixa de operação. Um indicador do ajuste é o chamado desvio médio quadrático, que em muitos casos está associado ao desvio padrão de cada modelo na faixa, incluindo a adequação da curva escolhida ao desempenho do sistema de medição em questão. Observe-se que neste caso a curva média então determinada passa a representar teoricamente o desempenho do sistema de medição na faixa de operação, isto é, o valor supostamente verdadeiro da medição pode ser calculado a partir de sua relação com o valor indicado pelo sistema de medição. No cálculo de incerteza devem ser levadas em consideração, além da incerteza do ajuste (duas vezes o desvio médio quadrático), as incertezas do padrão e do mensurando.

Pode-se observar que a incerteza de medição depende da curva escolhida como ajuste. O ajuste linear é muito conveniente, podendo resultar em valores de incertezas maiores do que os que seriam obtidos com um polinômio do de grau mais alto ou outra família de curvas. Daí a definição conhecida como linearidade

do sistema de medição. O aumento da complexidade de manipulação dos dados não constitui problemas atualmente, desde que se utilizem sistemas de aquisição de dados para as leituras, com as curvas de calibração embutidas no respectivo “software” do computador.

Finalmente, deve-se observar um fenômeno que ocorre com muitos sistemas de medição: a histerese. Sua resposta depende do histórico da variável sob medida além do valor instantâneo. Duas curvas de calibração podem ser determinadas, uma para valores ascendentes e outra para descendentes. Em operação, entretanto, como em geral não se sabe se os valores são ascendentes ou descendentes, utiliza-se uma única curva de calibração como representativa da mesma, resultando num aumento da incerteza da medição.

Estimativas de incerteza dos canais 1 e 2

A fim de fazer comparações com as simulações foram obtidos pontos experimentais sem se preocupar com as fontes de incerteza do sistema. Para isso, uma primeira aquisição foi feita utilizando um circuito com ganho de 1000 e uma média de 256 medidas no osciloscópio, e tomando cuidado para que a posição espectral do sensor não varie com a temperatura.

Considerando o método de avaliação do tipo A, a incerteza padrão de uma medida pode ser considerada como o desvio padrão de uma série de amostras, e o resultado final deve ser expresso por uma faixa de incerteza em torno do valor médio das amostras, equações B.2 e B.3. A distribuição de probabilidade utilizada para a estimativa da incerteza dos canais 1 e 2 foi a normal, e conseqüentemente, o fator de abrangência k deve ser igual a 2 para obter a incerteza expandida com um nível de confiabilidade de 95%. As tabelas B.1 e B.2 estão organizadas da seguinte forma:

- Número de amostras (Amostras);
- Posição espectral do sensor com uma variação máxima de 3pm na sua aquisição (λ);
- Média da Razão (R_m);
- Desvio padrão da razão (s);
- Incerteza expandida da razão para 95% de confiabilidade (U_R);
- Incerteza expandida da razão relativa (U);

- Coeficiente de sensibilidade ($C = \delta R / \delta \lambda$);
- Incerteza expandida associada à posição espectral do sensor em nm (U_λ).

Amostras	λ	Rm	s	U_R (95%)	U (%)	$C = \delta R / \delta \lambda$	U_λ (95%)
19	1526,562	23,941	3,716	7,432	31,04	-70,77	0,105
17	1526,712	13,326	1,023	2,046	15,35	-58,86	0,035
17	1526,808	8,818	0,581	1,163	13,18	-40,01	0,029
16	1526,910	5,445	0,314	0,627	11,52	-26,92	0,023
18	1527,006	3,451	0,152	0,303	8,80	-16,99	0,018
15	1527,117	1,984	0,090	0,180	9,07	-9,91	0,018
15	1527,205	1,403	0,060	0,120	8,57	-5,34	0,022
17	1527,301	1,011	0,040	0,079	7,85	-3,07	0,026
13	1527,400	0,808	0,038	0,076	9,44	-1,74	0,044
16	1527,507	0,656	0,019	0,038	5,83	-1,36	0,028
16	1527,604	0,530	0,025	0,050	9,40	-1,23	0,041
13	1527,701	0,418	0,012	0,025	5,98	-1,09	0,023
16	1527,803	0,313	0,010	0,020	6,56	-1,08	0,018
15	1527,906	0,196	0,005	0,010	5,35	-0,93	0,011
17	1528,005	0,125	0,005	0,009	7,23	-0,60	0,015
15	1528,106	0,076	0,002	0,004	5,71	-0,37	0,011
17	1528,199	0,052	0,002	0,004	6,74	-0,19	0,021
17	1528,308	0,038	0,001	0,002	5,51	-0,10	0,021
12	1528,405	0,032	0,002	0,003	9,98	-0,06	0,049

Tabela B.1 Valores estimados para incerteza do canal 1

Amostras	λ	Rm	s	U_R (95%)	U (%)	$C = \delta R / \delta \lambda$	U_λ (95%)
20	1531,708	32,368	2,812	5,624	17,37	-109,65	0,051
19	1531,863	15,373	0,805	1,610	10,47	-93,32	0,017
19	1531,914	11,446	0,608	1,215	10,62	-60,70	0,020
19	1532,030	6,295	0,342	0,683	10,86	-32,92	0,021
17	1532,172	3,250	0,152	0,303	9,33	-15,88	0,019
16	1532,258	2,362	0,114	0,229	9,68	-7,33	0,031
18	1532,349	1,967	0,084	0,169	8,58	-2,40	0,070
13	1532,453	1,919	0,045	0,090	4,70	-0,93	0,096
15	1532,608	1,701	0,077	0,154	9,06	-2,77	0,056
15	1532,753	1,101	0,026	0,053	4,77	-4,05	0,013
19	1532,907	0,492	0,013	0,027	5,44	-2,94	0,009
13	1533,043	0,230	0,006	0,013	5,55	-1,35	0,010
16	1533,204	0,106	0,002	0,005	4,55	-0,55	0,009
14	1533,347	0,060	0,001	0,003	5,02	-0,23	0,013
12	1533,502	0,038	0,002	0,004	9,28	-0,10	0,038
14	1533,621	0,030	0,001	0,002	6,78	-0,05	0,038
9	1533,699	0,027	0,001	0,002	8,74	-0,04	0,052

Tabela B.2 Valores estimados para incerteza do canal 2

Anexo

Definições metrológicas:

- (a) Erro é definido como a diferença entre o valor calculado ou observado e o valor verdadeiro do mensurando. Como na maioria das vezes o segundo não é conhecido, o erro não pode ser determinado, mas sim estimado. Em casos especiais, quando se usa um padrão primário para a medida, o valor verdadeiro é conhecido por definição.
- (b) Exatidão de uma medição é o grau de concordância entre o valor verdadeiro e o resultado da medição. Alguns definem como o maior desvio da leitura de um sistema de medidas para uma entrada conhecida. Os erros envolvidos nesta discrepância são normalmente sistemáticos e randômicos.
- (c) Repetitividade de uma medição define o grau de concordância entre resultados sucessivos obtidos. Nesta definição não importa quão perto ou longe do valor verdadeiro o resultado se encontra, mas simplesmente como os resultados são repetidos para uma entrada constante. As condições de repetitividade incluem o mesmo procedimento de medição, o mesmo observador, o mesmo instrumento de medição, utilizado nas mesmas condições, o mesmo local e a repetição num curto período. Ela pode ser expressa em função das características de dispersão dos resultados.
- (d) Reprodutibilidade dos resultados de medição define o grau de concordância entre os resultados das medições de um mesmo mensurando, efetuadas sob condições variadas de medição. As condições alteradas podem incluir o princípio de medição, o método de medição, o observador, o instrumento de medição, o padrão de referência, o local, as condições de utilização e o tempo. Ela pode ser expressa em função das características da dispersão

dos resultados. Assim, um teste realizado por dois diferentes laboratórios sobre o desempenho de um produto, pode apresentar diferentes resultados.

(e) Resolução de um sistema de medidas é o menor incremento da variável a ser medida que pode ser detectada pelo mesmo. Não deve ser confundido com exatidão, repetitividade ou sensibilidade

(f) Sensibilidade de um sistema de medição é a variação de seu sinal de saída em resposta à variação da grandeza a ser medida. Um bom sistema de medição tem uma sensibilidade adequada a incerteza desejada.

(g) Média

$$\bar{x} = \sum x_i / n \quad (\text{a.1})$$

(h) Desvio padrão

$$s^2 = \sum (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1) \quad (\text{a.2})$$