

6. Obtenção de imagens

Neste capítulo é apresentada uma aplicação do sensor de força magnética que é a obtenção de imagens magnéticas de corrosão, quando um mapeamento é feito com o sensor. Nosso objetivo foi o de obter imagens magnéticas de áreas de corrosão com diversas geometrias em placas ferromagnéticas e tentar quantificá-las em termos da profundidade. Foram utilizadas amostras de aço com áreas de corrosão fabricadas e naturais.

6.1. Montagem experimental

Na montagem utilizamos uma bancada com um suporte móvel em acrílico (Figura 6-1), onde foram posicionadas as placas ferromagnéticas a serem monitoradas. O sensor foi fixado a uma *peça* de acrílico movimentada por um atuador linear ZABER T-LA60 na direção perpendicular ao material ferromagnético, que corresponde ao eixo Z como ilustra a foto a seguir. O suporte móvel é deslocado por dois atuadores T-LLS260C nos correspondentes eixos X e Y da nossa montagem.

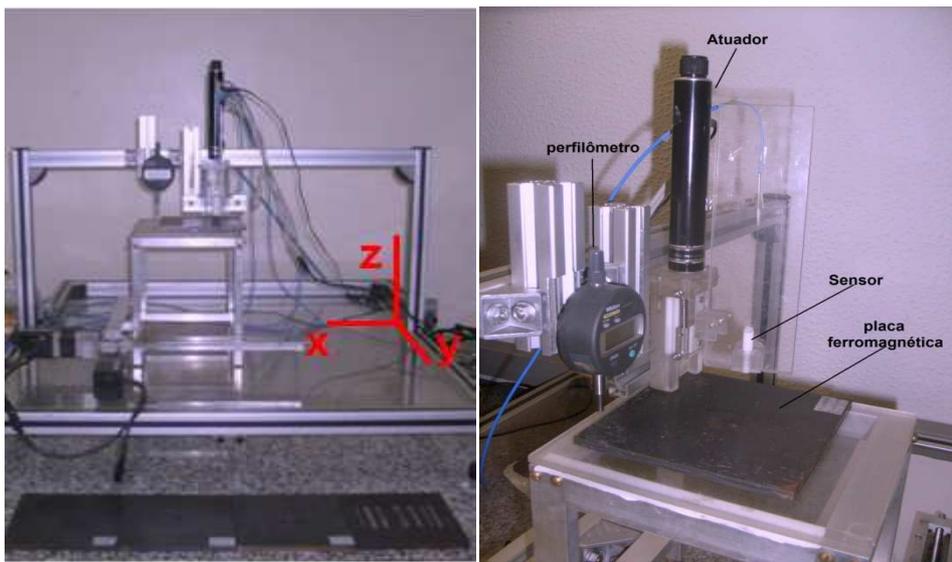


Figura 6-1. Montagem sensor de força magnética para o mapeamento de defeitos em placas ferromagnéticas.

6.2. Perfil de *pits* de corrosão

Materiais ferromagnéticos sofrem um processo de deterioração conhecido como corrosão que produz alterações prejudiciais em sua estrutura. Um dos problemas típicos na área de Ensaio Magnético Não-Destrutivo consiste em detectar a corrosão por meio de medições de campo magnético na superfície do material. Entre as técnicas mais utilizadas está a técnica denominada Campo Magnético de Fuga (Magnetic Flux Leakage, MFL), que tem por princípio aplicar um campo magnético uniforme na estrutura e medir as distorções introduzidas nas linhas de campo devido a eventuais defeitos e anomalias presentes no material [46,47]. Atualmente, o monitoramento de dutos baseado na técnica MFL, é feito com um equipamento especial chamado de PIG (Pipeline Inspection Gizmo) [48].

Utilizamos o sensor de força magnética estudado no capítulo anterior para gerar imagens de áreas de corrosão em placas de aço SAE-1020. Estas áreas chamadas de *pits* de corrosão tinham formato circular e retangular. Foram utilizadas amostras com *pits* de corrosão naturais e fabricados. Primeiramente com o objetivo de quantificar a medida, foram feitos levantamentos do perfil dos *pits* de corrosão com um perfilômetro Mitutoyo IDC 543-252B com resolução de 0,10 mm. O perfilômetro permanece fixo no eixo Z registrando o valor da profundidade enquanto a placa ferromagnética corroída é deslocada no eixo X com um passo de 0,20 mm.

A figura 6-2(a) mostra o perfil obtido com o perfilômetro para um *pit* circular fabricado de 0,49 mm de profundidade e 6,0 mm de diâmetro. A posição no eixo X apresentada nas figuras no presente capítulo corresponde à posição relativa ao centro do defeito monitorado. O levantamento para este mesmo perfil foi feito também utilizando o sensor de força magnética que utiliza o ímã de 3,0 mm x 5,0 mm como ilustra a figura 6-2(b). O sensor é posicionado a uma altura fixa com relação ao *pit* que denominamos *standoff*, enquanto a placa que o contém é deslocada.

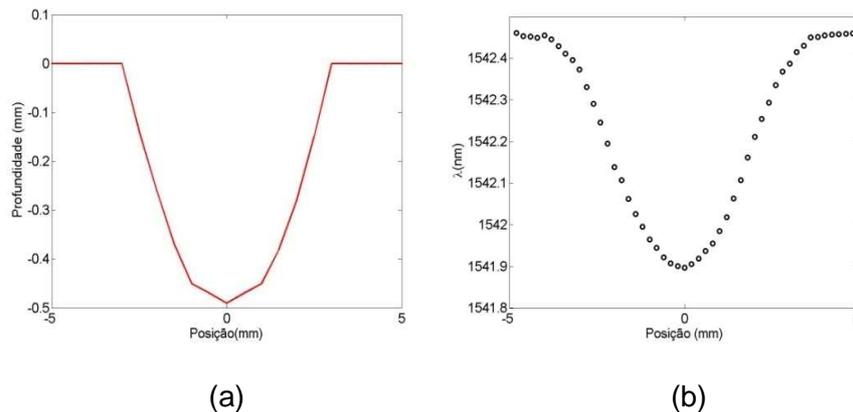


Figura 6-2. (a) Perfil do *pit* de corrosão medido com o perfilômetro. (b) Valor do comprimento de onda obtido pelo o sensor de força magnética quando o *pit* de corrosão é deslocado sob o sensor.

Como forma de relacionar o comprimento de onda medido com a profundidade do defeito, foi utilizado um defeito padrão. A partir da razão entre comprimento de onda e profundidade máxima obtida em nm/mm é determinada a profundidade de outros *pits* de corrosão fabricados. Como exemplo utilizamos placas contendo 4 *pits* circulares como ilustra a tabela 6-1.

Tabela 6-1. Medida de diferentes *pits* utilizando como *pit* de calibração o defeito de 0,31 mm de profundidade.

| Pit | Diâmetro (mm) | Profundidade Perfilômetro (mm) | Profundidade Sensor (mm) |
|-----|---------------|--------------------------------|--------------------------|
| (a) | 4,0 | 0,17 | 0,14 |
| (b) | 6,0 | 0,31 | - |
| (c) | 6,2 | 0,49 | 0,49 |
| (d) | 7,2 | 0,69 | 0,57 |

Foi utilizado como defeito padrão o *pit* de corrosão circular (b) de 0,31 mm de profundidade e 6,0 mm de diâmetro. O sensor utilizado para realizar os testes foi o sensor com ímã de 3,0 mm x 5,0 mm. Quando o *standoff* é de 1,20 mm, o fator de calibração obtido foi de 1,89 mm/nm. Assim, para o mesmo sensor fazendo o monitoramento de diferentes defeitos no mesmo *standoff*, basta multiplicarmos cada ponto da curva de comprimento de onda pelo fator de calibração para obter o perfil do *pit* de corrosão calibrado em

milímetros. Este procedimento foi bem sucedido no *pit* menor, de 0,17 mm de profundidade e 4 mm de diâmetro, foi obtida uma profundidade de 0,14 mm. O erro da percentual da profundidade máxima neste caso é de 8,3%. No caso do *pit* de corrosão maior de 0,49 mm e 6,2 mm de diâmetro, tivemos sucesso também e o erro é desprezível, e no caso de um *pit* maior ainda, de 0,69 mm de profundidade e 7,2 mm de diâmetro o erro foi de 15%. Acreditamos que o maior erro encontrado neste último *pit* mais profundo não seja devido a um erro de calibração, mas à falta de sensibilidade deste sensor em relação à profundidade do defeito.

A figura 6-3 mostra os perfis para os diferentes *pits* de corrosão. Em vermelho é apresentada a curva medida com o perfilômetro e, em preto, a curva obtida com o sensor já calibrada. O fator de calibração varia com o *standoff*, e com a geometria do ímã. Na medida em que aumentamos o comprimento e o diâmetro do ímã, o fator de calibração para um mesmo *standoff* aumentará.

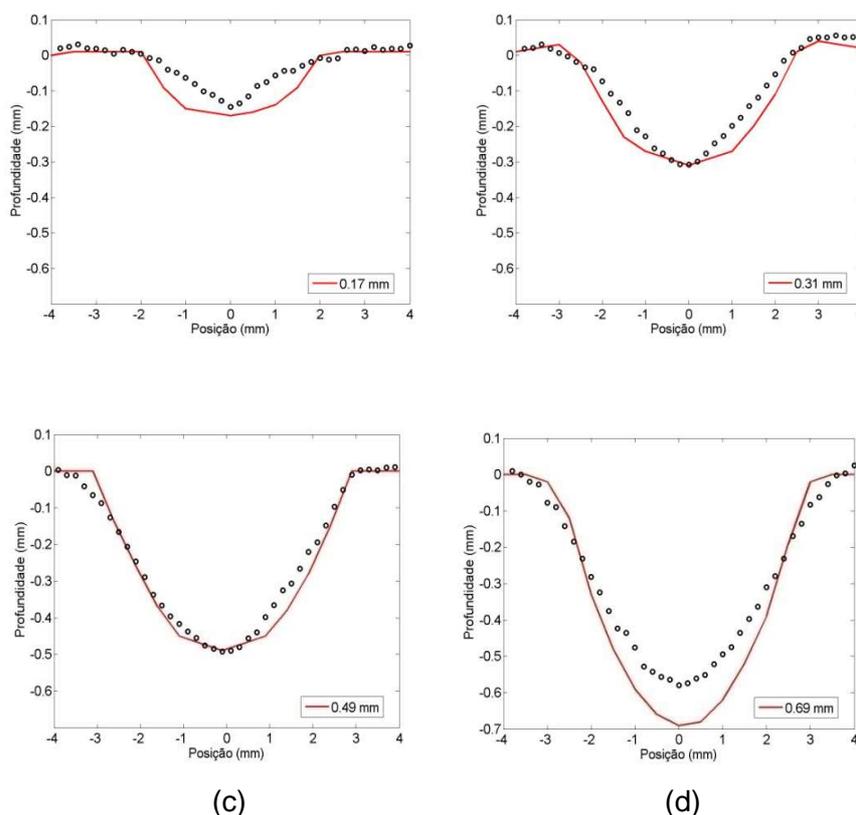


Figura 6-3. Perfis medidos com o perfilômetro e o com sensor de força magnética para diferentes geometrias de *pits* fabricados. (a) *Pit* 4,0 mm de diâmetro e 0,17 mm de profundidade. (b) *Pit* calibrador. (c) *Pit* 6,2 mm de diâmetro e 0,49 mm de profundidade. (d) *Pit* 7,2 mm de diâmetro e 0,69 mm de profundidade.

6.2.1. Efeito da geometria do sensor

A sensibilidade do sensor pode ser estimada levando-se em conta dois fatores, a geometria do *pit* e o *standoff*. De acordo com as geometrias estudadas foi possível visualizar para um *standoff* de 0,5 mm, um *pit* de corrosão retangular com 2,0 mm de largura e 60 mm de comprimento, com uma profundidade de 0,16 mm utilizando o sensor com ímã de 3,0 mm x 5,0 mm.

Sensores que utilizam ímãs maiores possibilitam a detecção de *pits* mais profundos, permitindo também realizar medições com valores de *standoff* maiores. Na figura 6-4 é apresentada a medida de um *pit* de corrosão de 30 mm de diâmetro e 2,47 mm de profundidade. Dois sensores diferentes foram utilizados. Na figura 6-4 (a) o sensor utiliza um ímã 9,5 mm de diâmetro e 9,5 mm de comprimento em um *standoff* de 7,0 mm. O passo utilizado foi de 0,5 mm. Na figura 6-4 (b) o sensor utiliza um ímã de 3,0 mm de diâmetro e 5,0 mm de comprimento em um *standoff* quase 10 vezes menor que o anterior 0,8 mm. O passo utilizado foi de 0,4 mm. Nota-se que com as duas geometrias de ímãs é possível visualizar o defeito, mas a medição feita em um *standoff* maior não consegue acompanhar o formato real do perfil do defeito, como acontece quando a medição é feita em um *standoff* menor. Contudo o defeito é detectado. Dependendo da aplicação, sensores com ímãs robustos podem ser utilizados obtendo sinais menos ruidosos a distâncias mais afastadas, porém perderão exatidão na obtenção do perfil real do defeito.

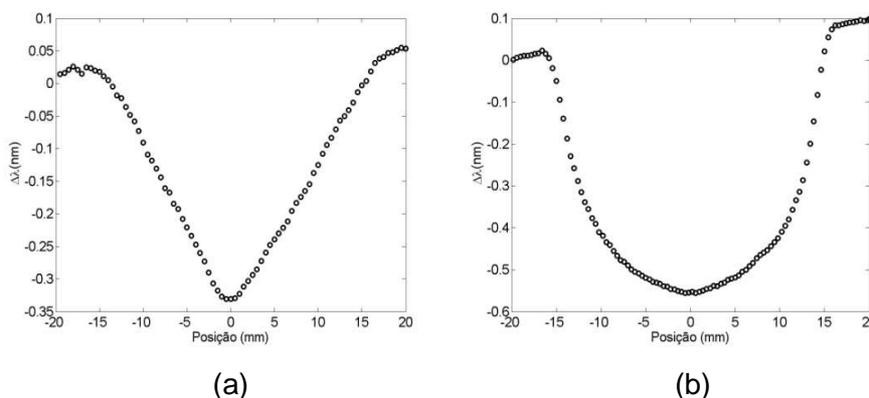


Figura 6-4. Medida de *pit* de corrosão monitorado por (a) Sensor 9,5 mm x 9,5 mm com *standoff* de 7,0 mm e (b) Sensor 3,0 mm x 5,0 mm com *standoff* de 0,8 mm.

Foram estudadas outras possibilidades analisando *pits* com diferentes geometrias e sensores utilizando ímãs com outras geometrias. Foi analisada a resposta do sensor no monitoramento de *pits* retangulares artificiais maiores e mais profundos que os *pits* circulares artificiais analisados anteriormente. Os *pits* retangulares encontram-se na mesma placa e o sensor utilizado contém um ímã de 1,9 mm de diâmetro e 5,0 mm comprimento em um *standoff* de 0,5 mm. Na figura 6-5 são apresentados os perfis de três *pits* retangulares, a fim de analisar o comportamento do sensor para diferentes defeitos mais profundos (0,52 mm, 0,72 mm e 1,00 mm).

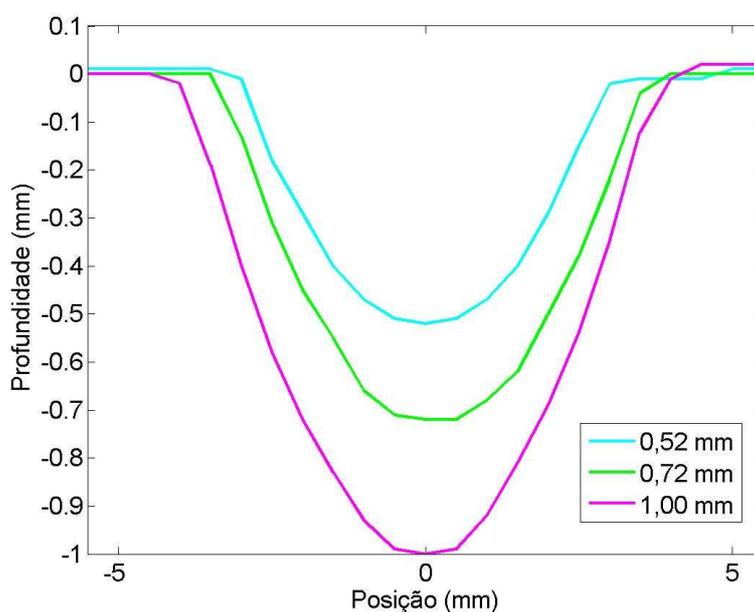


Figura 6-5. Perfil de *pits* retangulares com diferentes dimensões. Perfil traçado com o perfilômetro.

Na figura 6-6 é mostrada a medida dos diferentes *pits* retangulares com as profundidades mencionadas anteriormente. Note que para este *standoff* a variação do comprimento de onda não acompanha o aumento de profundidade.

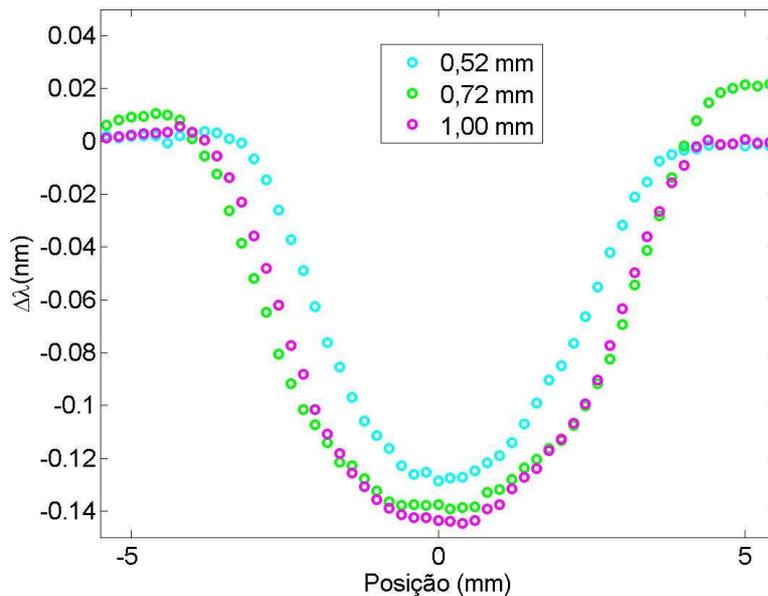


Figura 6-6. Medida de *pits* retangulares com diferentes dimensões e profundidades. O sensor utilizava um ímã de 1,9 mm x 5,0 mm, *standoff* de 0,5 mm.

A figura 6-7 apresenta a medida dos mesmos defeitos realizada com o sensor que utiliza um ímã um pouco maior com 3,0 mm de diâmetro e 5,0 mm de comprimento. Em azul mostramos a curva para o *pit* de 0,52 mm de profundidade, em verde a curva correspondente ao *pit* de 0,72 mm e em magenta a curva para o *pit* de 1,0 mm. A placa é posicionada no mesmo *standoff* de 0,5 mm. Note que agora se observa uma diferença maior nos comprimentos de ondas detectados. Contudo, ainda assim a variação do comprimento de onda correspondente ao *pit* com 1,0 mm de profundidade não foi o dobro da obtida com o *pit* de 0,52 mm de profundidade. Uma nova geometria, com um ímã mais intenso deveria utilizada neste caso. A tabela 6-2 resume os dados obtidos com os sensores de 1,9 mm x 5,0 mm e 3,0 mm x 5,0 mm para os *pits* retangulares analisados.

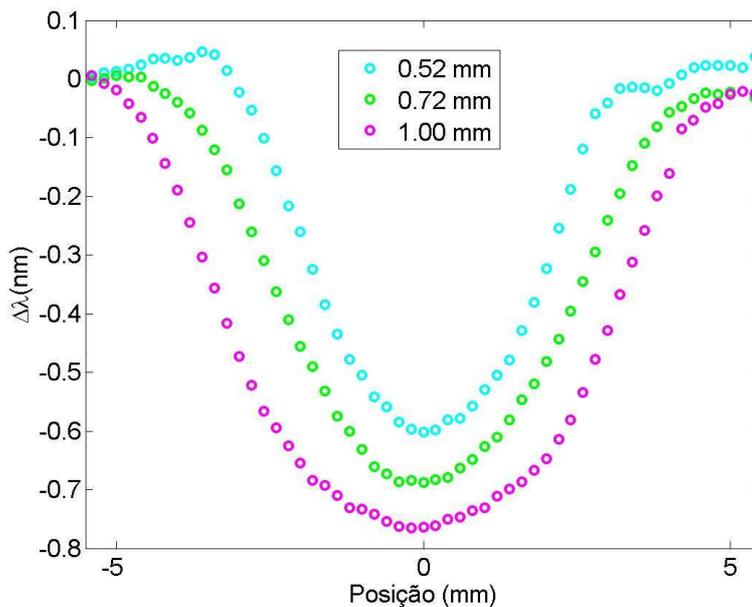


Figura 6-7. Perfil de *pits* retangulares com diferentes dimensões. Perfil traçado com o sensor de 3,0 mm x 5,0 mm

Tabela 6-2. Dimensões dos *pits* retangulares monitorados com o sensor 1,9 mm x 5,0 mm e 3,0 mm x 5,0 mm..

| Pit | Largura (mm) | Profundidade Perfilômetro (mm) | $\Delta\lambda_{\text{máx}}$ (nm) Sensor 1,9 mm | $\Delta\lambda_{\text{máx}}$ (nm) Sensor 3,0 mm |
|-----|--------------|--------------------------------|---|---|
| E | 6,0 | 0,52 | 0,128 | 0,601 |
| F | 7,0 | 0,72 | 0,138 | 0,668 |
| G | 8,0 | 1,00 | 0,143 | 0,764 |

De acordo com os resultados obtidos percebe-se que é possível monitorar defeitos procurando a geometria do sensor que se adapte a situação requerida. Uma pequena variação na geometria do sensor influi notoriamente no perfil obtido. A figura 6-8 apresenta o perfil do *pit* circular artificial de 0,69 mm de profundidade e 6,2 mm de diâmetro monitorado por sensores com ímãs de 1,9 mm e 3,0 mm de diâmetro e 5,0 mm e 10 mm de comprimento. O *standoff* utilizado foi de aproximadamente 0,4 mm em todos os casos. Observou-se que o sensor maior de 3,0 mm x 10 mm é o mais sensível, consegue acompanhar melhor a profundidade do *pit*.

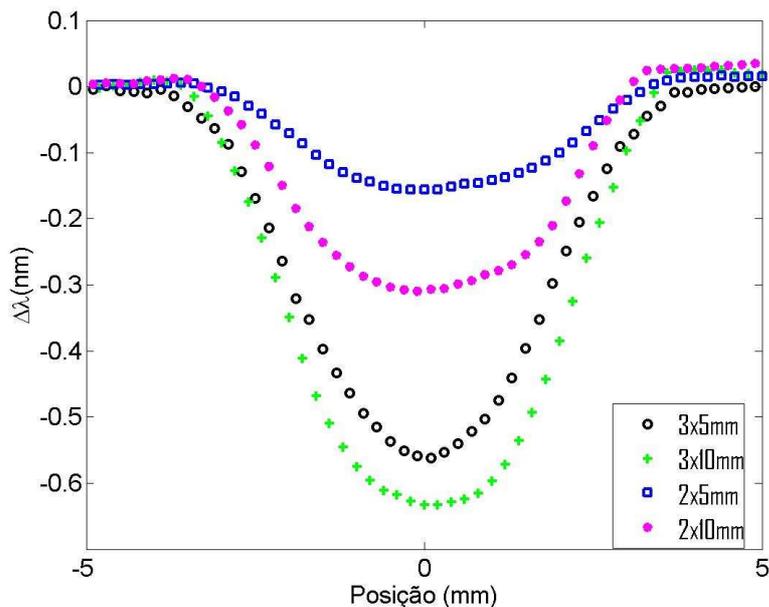


Figura 6-8. *Pit* de 0,69 mm de profundidade monitorado com diferentes sensores com *standoff* de 0,40 mm.

6.3. Arranjo de sensores

Um arranjo linear constituído por quatro sensores de 1,9 mm x 5,0 mm foi testado com a finalidade de monitorar áreas mais extensas. Os sensores foram posicionados em um suporte de teflon, com a mesma polaridade na face dos ímãs que interagem com o material ferromagnético. A fim de evitar interação entre os ímãs, o que mudaria a força entre a placa e o sensor em cada ponto, os sensores foram dispostos de tal forma que a distância a partir do centro do primeiro ímã até o centro do seguinte ímã fosse de 6,0 mm. Esta distância foi determinada posicionando dois ímãs paralelos um ao lado do outro, separados por uma peça de teflon com os pólos N-S alinhados na mesma direção. Na medida em que a separação entre os ímãs é aumentada, observa-se que a interação entre os ímãs diminui. A 6,0 mm de separação, quando um dos ímãs é trasladado verticalmente, o outro ímã fica fixo na sua posição. Para o ímã de 3,0 mm x 5,0 mm a distância de separação na qual não se percebe interação entre os ímãs é de 16 mm. Assim, para construir um arranjo de sensores 3,0 mm x 5,0 mm, estes devem estar posicionados a 16 mm de distância entre eles.

Uma das vantagens da fibra óptica é a possibilidade de multiplexar os sensores, isto é, juntar mais de um sensor em uma única fibra. Foram utilizados três conectores ópticos para multiplexar o sinal dos quatro sensores num único cabo óptico, já que o sistema de leitura do nosso laboratório possui só um canal de leitura. A facilidade de multiplexação desta técnica permitiria a monitoração de regiões extensas de uma estrutura ferromagnética. Na figura 6-9 é mostrada a montagem utilizada para o arranjo linear.

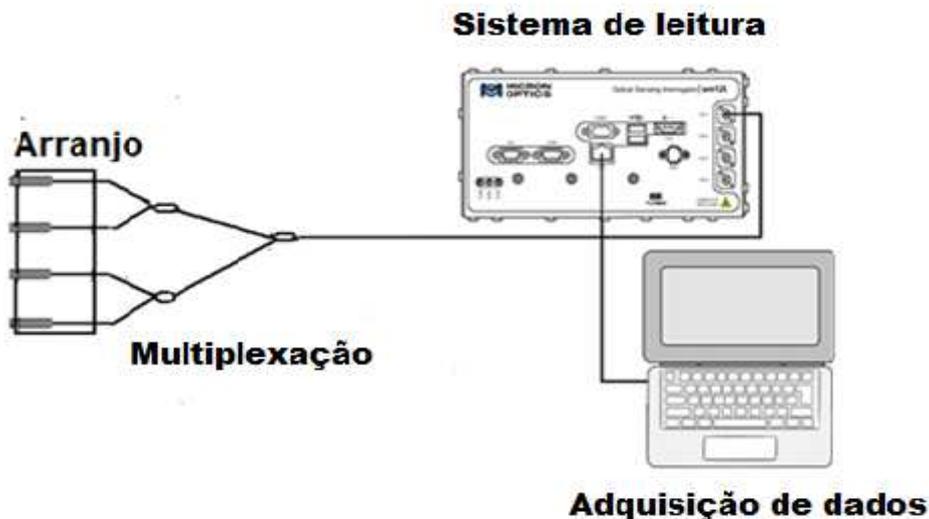


Figura 6-9. Montagem do Arranjo linear com 4 sensores e multiplexação dos sinais.

Para a multiplexação ser feita é preciso que as FBG possuam comprimentos de onda diferentes e, além disso, estejam dentro do limite imposto pelo sistema de leitura, que em nosso caso se encontra na faixa de 1520 nm até 1570 nm. A figura 6-10 apresenta o espectro para as quatro Fibras com rede de Bragg que formam o arranjo. Os comprimentos de onda correspondentes foram de 1524,666 nm, 1529,815 nm, 1539,412 nm e 1549,154 nm.

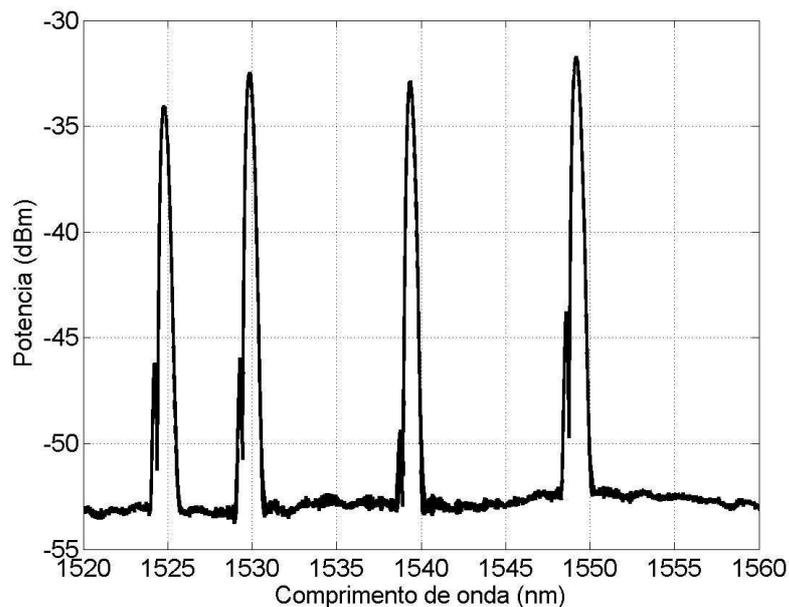


Figura 6-10. Espectro FBGs dos sensores que compõem o arranjo.

Para alinhar os sensores, foi colocada uma placa de ferro na face dos ímãs, que foi retirada depois de cada FBG ser fixada no acrílico. Inicialmente observou-se que mesmo alinhando os ímãs, uma pequena variação no posicionamento dos sensores foi visualizada. Um defeito fabricado foi monitorado com o arranjo. Este defeito consiste de um *pit* retangular com 0.52 mm de profundidade e 5,0 mm de largura e 60 mm de comprimento. O arranjo foi posicionado com um *standoff* de 1.0 mm. A figura 6-11 ilustra a medida com os quatro sensores quando o defeito é monitorado na direção transversal à largura do defeito. Se cada sensor é calibrado, pode-se conhecer a profundidade do risco medido por cada um. No exemplo apresentado, para o ponto de profundidade máxima a variação do comprimento de onda entre os sensores que apresentam o maior e menor valor é de 15 %. Esta diferença também pode ter sido produzida por alguma inclinação da placa em relação ao plano do arranjo.

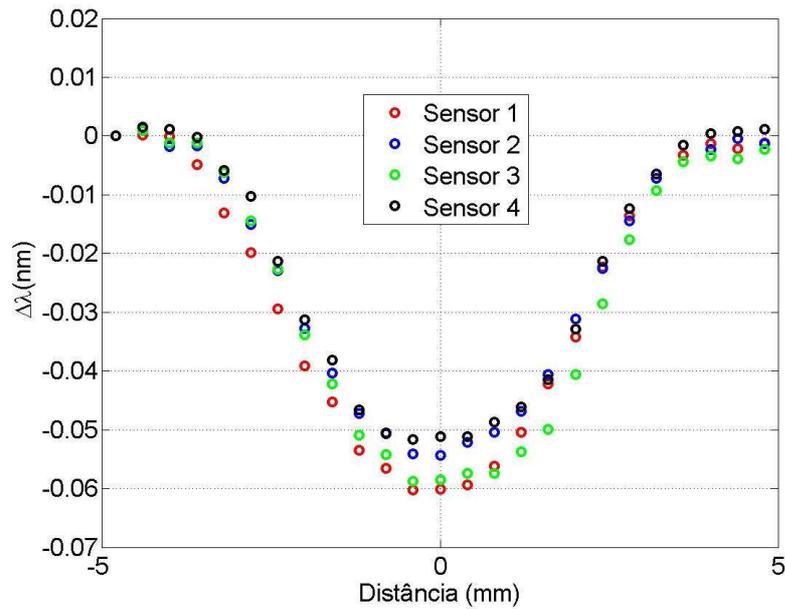


Figura 6-11. *Pit* retangular de 0,52 mm de profundidade e 5,0 mm de largura, medido com o arranjo de sensores.

Na figura 6-12, é mostrada a resposta do arranjo quando o *pit* retangular é monitorado na direção longitudinal à largura do defeito. Nota-se que devido a distância de separação entre os sensores só um deles visualiza o defeito.

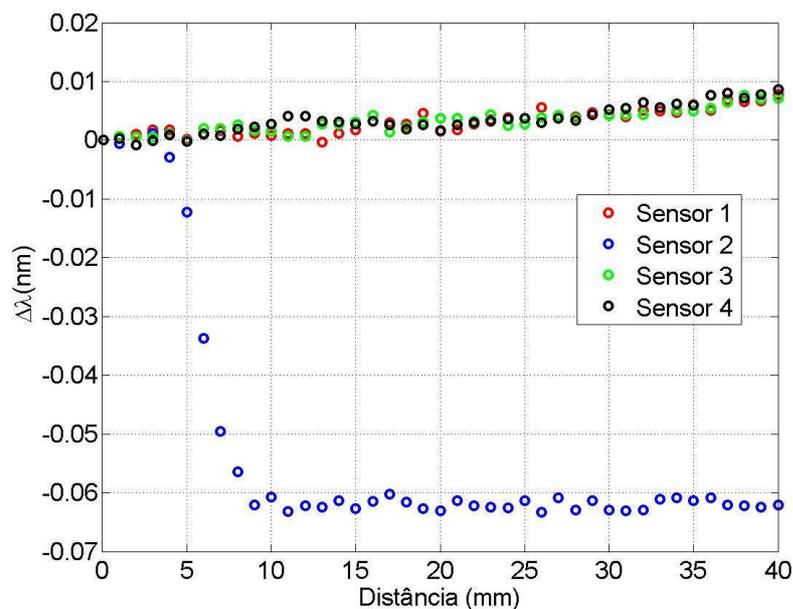


Figura 6-12. *Pit* retangular fabricado monitorado com arranjo de sensores na direção longitudinal à largura.

6.4. Imagens magnéticas

Na figura 6-13 é mostrada uma imagem gerada quando o *pit* de corrosão retangular de 0,52 mm de profundidade e 8,0 mm de largura e 60 mm de comprimento é monitorado com o arranjo de quatro sensores. O defeito foi monitorado numa extensão de 18 mm. Utilizando as ferramentas do programa Matlab é possível visualizar o defeito em três dimensões. Neste caso foi feito no eixo *X* uma varredura de 20 mm com um passo de 0,20 mm. Na figura, as linhas pretas paralelas ao eixo *X* indicam o percurso de cada sensor. Assim, com o arranjo conseguimos visualizar o monitoramento ao longo do defeito a través de uma imagem.

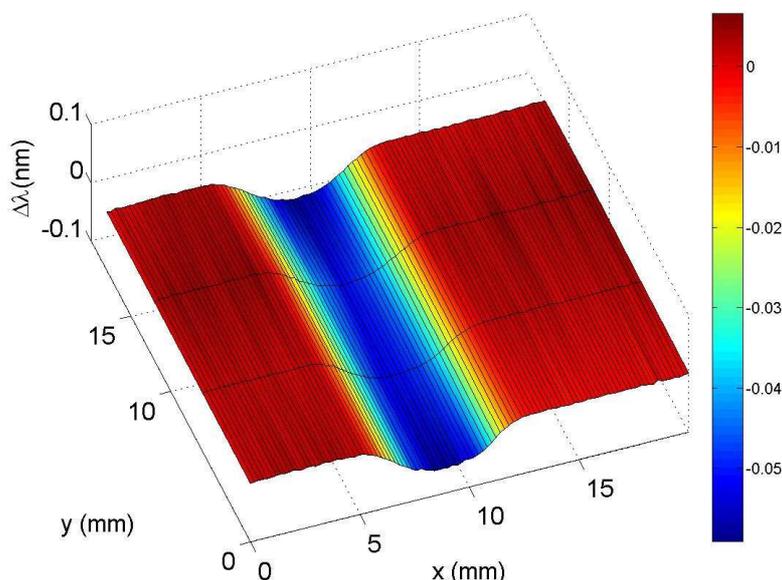


Figura 6-13. Monitoramento ao longo de um *pit* de corrosão retangular fabricado de 0,52 mm de profundidade, 8,0 mm largura e 60 mm de comprimento. A escala de cores foi normalizada.

O monitoramento de uma região mais extensa pode ser feito com nosso arranjo linear. Para este fim são realizadas várias varreduras do defeito considerando cada arranjo linear como um bloco. Na prática, com a replicação do bloco de 4 sensores poderíamos obter um arranjo matricial. Para simular este arranjo matricial, o bloco é movimentado ao longo de *X* através do atuador, e, posteriormente, ele é deslocado no eixo *Y*. Este procedimento pode ser repetido várias vezes como é ilustrado na figura 6-14, simulando como seria a resposta do arranjo matricial.

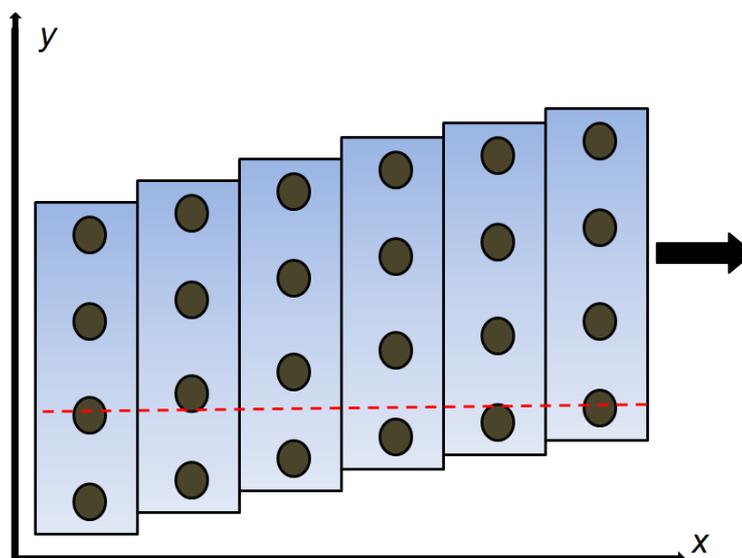


Figura 6-14. Arranjo linear disposto em blocos, representando um arranjo quadrado.

A figura 6-15 mostra um *pit* circular fabricado de 39 mm de diâmetro e 1,95 mm de profundidade, o qual foi monitorado com o arranjo, posicionado em um *standoff* de 0,7 mm. O conjunto de sensores é deslocado a passos de 1,0 mm no eixo Y, e a passos de 0,5 mm em X. Neste caso foi feita uma varredura de 50 mm no eixo X. A figura 6-15(a) apresenta a varredura para dois percursos do sensor que corresponde a dois blocos, a figura 6-15(b) corresponde a três blocos, a figura 6-15(c) quatro e a figura 6-15 (d) 5 blocos. Apresentamos como seria a imagem se mais blocos fossem utilizados. Nota-se que, na medida em que se incrementam os trajetos, a imagem fica com melhor definição. As cores nas imagens representam diferentes valores de força entre o material ferromagnético com defeito e o sensor. Assim, a cor vermelha representa uma força maior e a cor azul mais escura representa uma força menor, isto equivale a uma maior profundidade detectada pelo sensor. Nas imagens que serão apresentadas a barra de cores corresponde à variação do comprimento de onda ($\Delta\lambda$) no eixo z. A figura 6-16 mostra a imagem final obtida com o arranjo e a fotografia do *pit* fabricado.

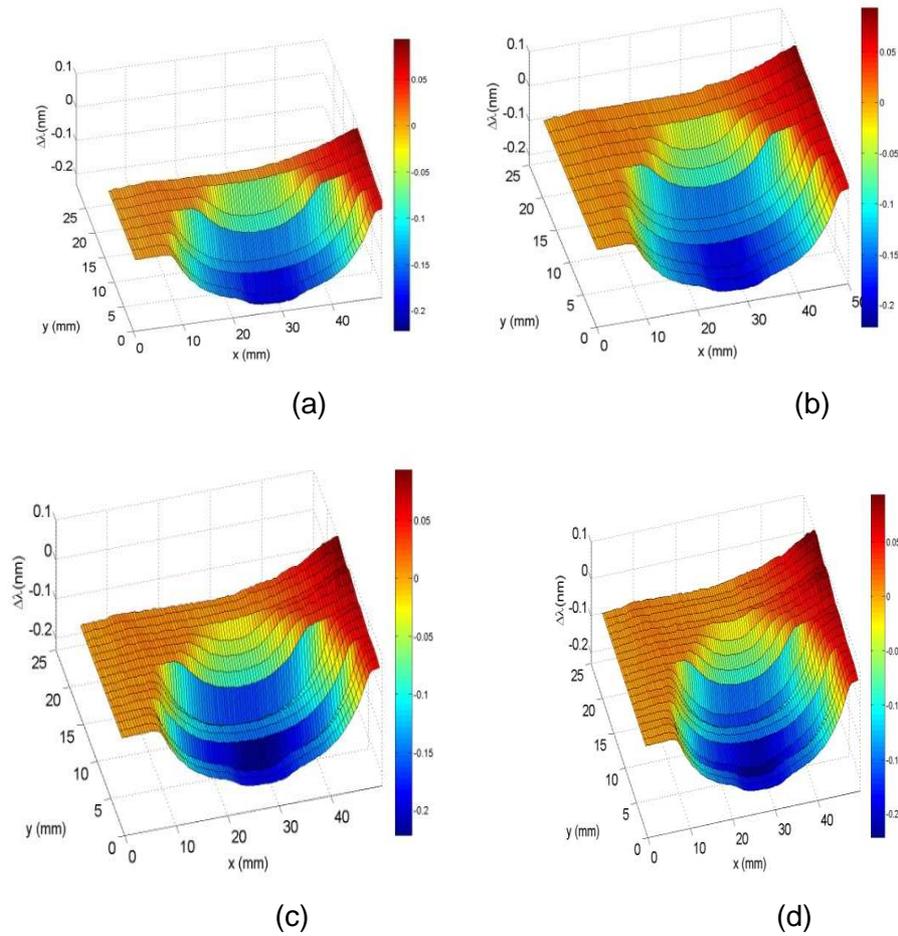
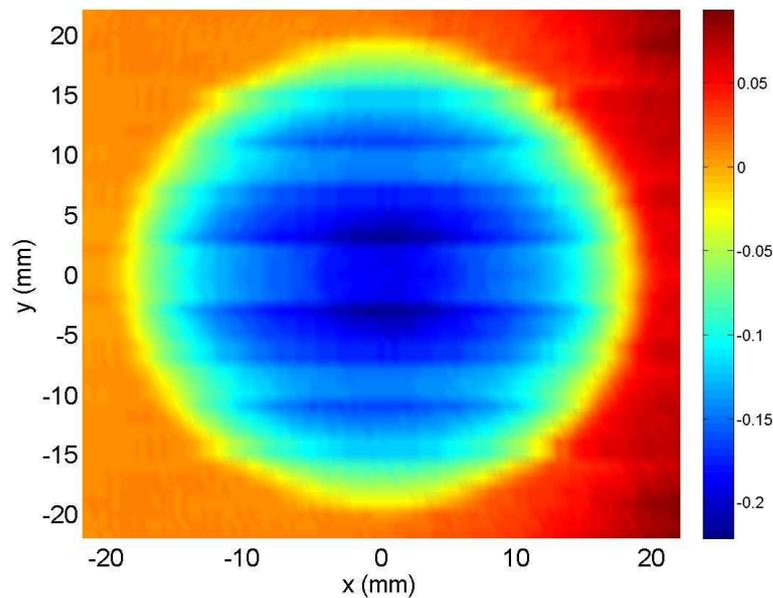


Figura 6-15. Imagem obtida do *pit* circular fabricado de 39 mm de diâmetro e 1,95 mm de profundidade. Foi utilizado o arranjo disposto em blocos. A escala de cores foi normalizada.



(a)

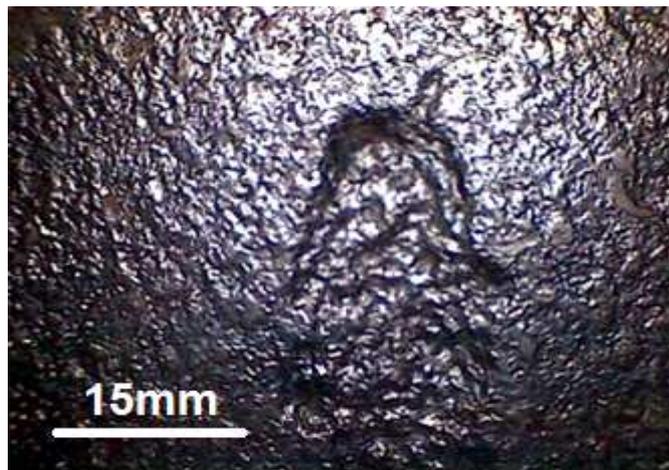


(b)

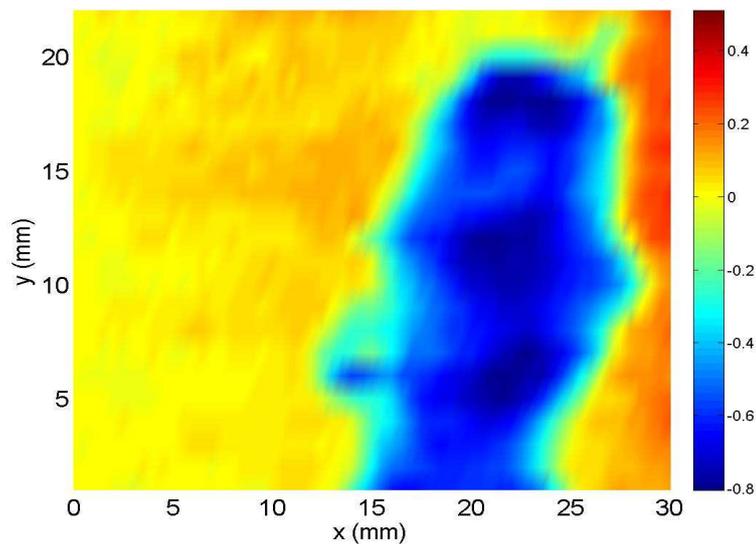
Figura 6-16. (a) Foto. (b) Imagem do *pit* circular artificial de 39 mm de diâmetro e 1,95 mm de profundidade. A escala de cores foi normalizada.

Defeitos naturais foram também monitorados com este mesmo procedimento. A figura 6-17 mostra a fotografia do defeito e a imagem magnética obtida com o arranjo. Neste caso, o deslocamento em Y foi de 1,0 mm para cada percurso no *standoff* de 0,6 mm. Observando o defeito e a imagem, constatamos que o arranjo reproduz com boa precisão o formato do defeito. Diminuindo o passo em X, e ou deslocamento em Y é possível obter

imagens com maior definição. A conveniência do valor do passo dado depende da extensão do defeito e do detalhe que se quer obter. No caso do defeito natural, a região mapeada foi de 30 mm x 23 mm. Nesta situação, utilizar um passo menor de 0,5 mm não produz uma variação significativa na imagem. Entretanto, na medida em que o passo é incrementado, a definição da imagem diminui. O *standoff* também tem influencia na definição da imagem, já que, na medida em que o arranjo e o *pit* são afastados, a imagem obtida apresenta menor definição.



(a)



(b)

Figura 6-17. Foto *pit* natural. (b) Imagem defeito natural. A escala de cores foi normalizada.

A imagem do *pit* circular apresentado na figura 6-18 pode também ser obtida através de um arranjo estático. A finalidade desta medida é prever como seria a imagem do *pit* se um arranjo quadrado de 8 x 8 sensores fosse posicionado paralelo ao plano do defeito. Observa-se na figura 6-18 que a imagem obtida reproduz o formato do *pit* circular, demonstrando que este tipo de mapeamento pode ser realizado com o arranjo estático também.

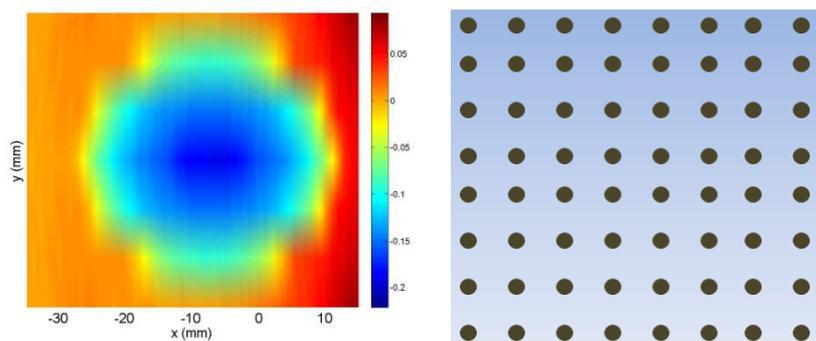


Figura 6-18. Imagem obtida com o arranjo estático. A escala de cores foi normalizada.

Com o arranjo utilizado neste trabalho consegue-se a monitoração de defeitos com profundidade de 0,16 mm, comparável com a técnica ICS [46] com a qual é possível detectar *pits* com profundidade de 1,0 mm. Utilizando MFL [48] a monitoração de defeitos de 0,6 mm de profundidade é reportada na literatura.

6.5. Solução do problema inverso

Analisaremos finalmente se seria possível quantificar a medida somente utilizando a relação entre posição e comprimento de onda obtido através da variação da distância entre o sensor e uma placa ferromagnética. Queremos determinar a geometria e a profundidade do defeito a partir do valor do comprimento de onda obtido quando se realiza o monitoramento do defeito, sem ter que utilizar um “defeito calibrador” como foi feito anteriormente. A este problema chamaremos de problema inverso. Este problema será resolvido com auxílio das curvas obtidas no capítulo anterior já sabendo de antemão que o campo magnético gerado pela placa é diferente do campo gerado pela placa com o *pit* de corrosão. A curva utilizada corresponde a do sensor com ímã de 3,0 mm x 5,0 mm. Foi feito

um ajuste da curva através de um polinômio de grau 7, obtido a partir da equação 6-1, que permite obter o valor do comprimento de onda (λ) da FBG em função da distância do sensor à placa.

$$\lambda = -0.0028103 * z^7 + 0.056773 * z^6 - 0.47143 * z^5 + 2.0801 * z^4 - 5.2746 * z^3 + .7948 * z^2 - 6.5193 * z + 1543.9 \quad (6-1)$$

O processo está ilustrado na Figura 6-19. Inicialmente o sensor é posicionado com um *standoff* no eixo Z, permanecendo fixo. Esta será a posição (A), a partir da qual se realizará o monitoramento do perfil do defeito. Na medida em que o sensor é deslocado no eixo X, observa-se uma variação no comprimento de onda que muda de acordo com a profundidade do *pit*. O ponto de máxima deformação da FBG (B) equivale ao ponto mais profundo que o sensor pode medir. Assim, a diferença entre os valores dos pontos B e A indicaria a profundidade do *pit* de corrosão.

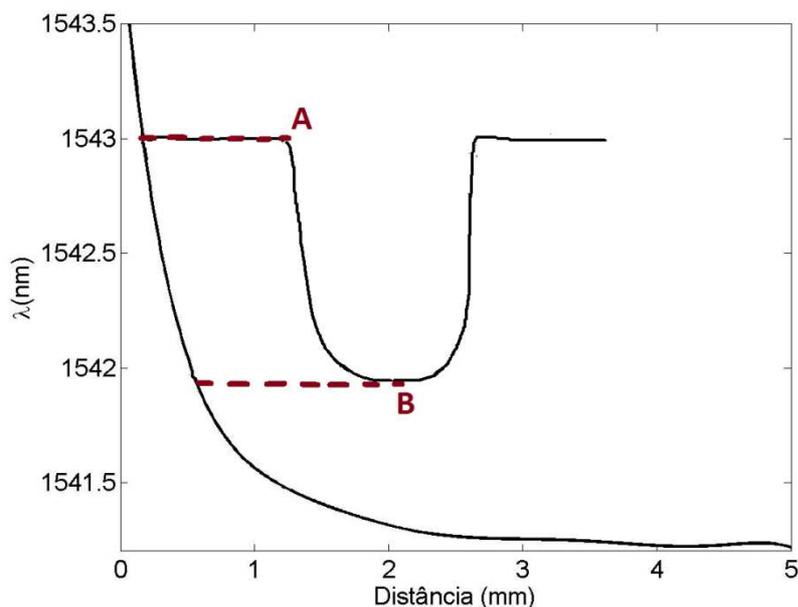


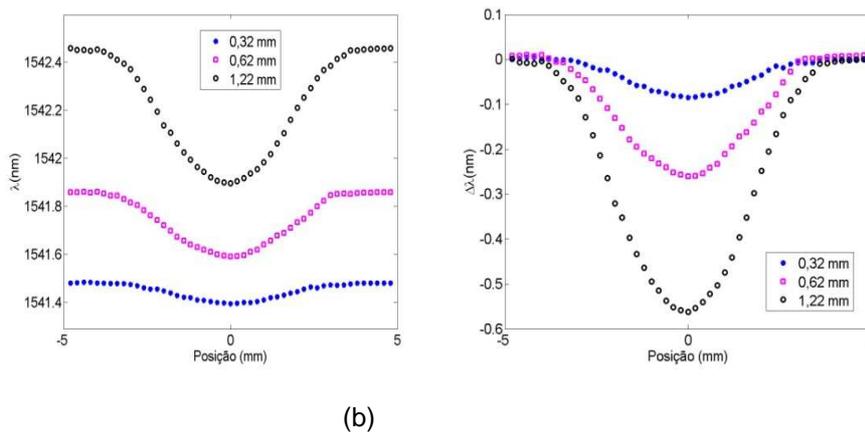
Figura 6-19. Solução do problema inverso, a partir da curva ajustada obtida com o sensor que utiliza o ímã de 3,0 mm x 5,0 mm.

Foi feito um teste com o *pit* de 0,49 mm de profundidade e 6,2 mm de diâmetro. O valor inicial de comprimento de onda λ_0 obtido na aquisição de dados no percurso do perfil do *pit* corresponde a 1542,4540 nm. Este comprimento de onda equivale, de acordo com a curva de calibração, a um

standoff de 0,32 mm. No ponto mais profundo do *pit*, o comprimento de onda λ_{\max} é de 1541,8969 nm. Na curva de calibração, esse ponto corresponde a 0,75 mm. Desta forma, a partir destes dois valores é obtida uma diferença de 0,28 mm, que corresponderia ao valor da profundidade máxima do *pit* medido pelo sensor. O erro percentual para a profundidade máxima neste caso é grande e vale 43%.

A figura 6-20 mostra medidas do *pit* de 0,49 mm de profundidade em diferentes *standoffs*. Para um *standoff* maior de 0,63 mm o valor de $\lambda_0 = 1541,8538$ nm, já na maior variação obtemos $\lambda_{\max} = 1541,5912$ nm que equivale à distância de 0,94 mm, sendo assim a diferença entre λ_0 e λ_{\max} igual à 0,31 mm, em este caso o erro diminui um para 36%.

No caso de um *standoff* maior ainda igual 1,22 mm, tem-se que λ_0 é de 1541,4812 mm, no ponto de variação máxima $\lambda_{\max} = 1541,3965$ nm o que corresponde a 1,69 mm, agora obtemos como resultado uma diferença de 0,47 mm e o erro chega a 13%.



(a)

(b)

Figura 6-20. (a) Resposta obtida com o sensor para diferentes valores de *standoff*. (b) Comparação das amplitudes da variação do comprimento de onda obtido para cada valor de *standoff*.

Utilizando a razão obtida entre o valor da profundidade adquirido através da curva de calibração e $\Delta\lambda_{\max}$, podemos comparar as medidas com o perfil real do defeito. Assim, para o *standoff* de 0,32 mm, a razão é de 0,64 mm/nm, para o *standoff* de 0,63 mm a razão é de 1,24 mm/nm, e no *standoff* de 1,22 mm a razão é 5,02 mm/nm. Os resultados estão ilustrados na figura 6-21.

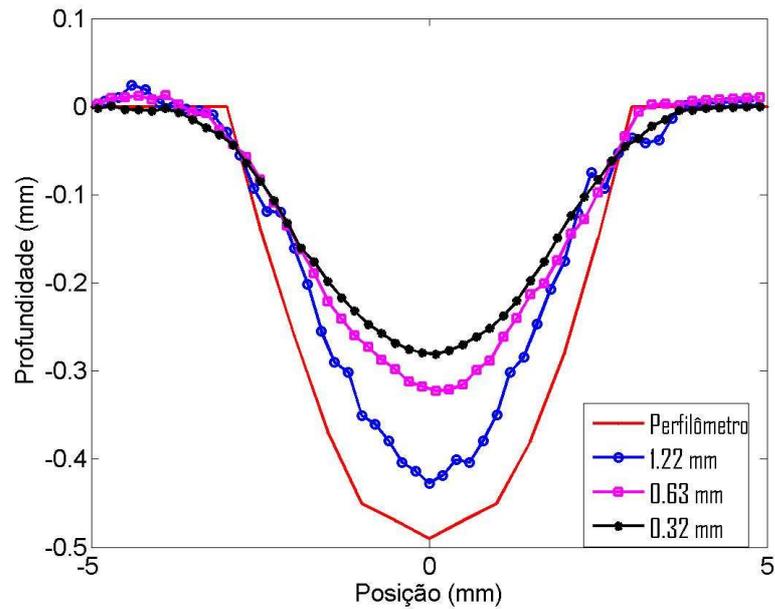


Figura 6-21. Comparação da curva obtida com o perfilômetro e as curvas obtidas a diferentes valores de *standoff*. As curvas são ajustadas resolvendo o problema inverso.

Os resultados obtidos desta forma indicam que, se a medida fosse feita a determinada distância e para este tipo de defeito seria possível obter o valor da profundidade com precisão razoável utilizando uma curva de calibração feita anteriormente à medição variando-se a distância entre o sensor e uma placa ferromagnética.