

Desenvolvimento de técnicas micromagnéticas de análise de tensões em risers flexíveis

MARTINS, C.O.D., SOUZA, R. R., LIMA, T.R.S., REGULY, A.

Laboratório de Metalurgia Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Osvaldo Aranha, 99, S610, CEP: 90035 – 190, Porto Alegre – RS – Brasil.

e-mail: cmartins@demet.ufrgs.br ; ricson@demet.ufrgs.br ; tlima@demet.ufrgs.br ; reguly@demet.ufrgs.br

RESUMO

Em algumas aplicações, a detecção de defeitos não é suficiente para a segurança operacional de componentes e estruturas. Deste modo, as técnicas não destrutivas precisam ser adaptadas para a análise do estado de tensões atuantes no componente. Este trabalho apresenta os esforços despendidos no desenvolvimento de sistemas não destrutivos de análise de tensões, voltados para o monitoramento do estado de tensões atuantes em arames da armadura de tração de Risers flexíveis utilizados para o transporte de petróleo e seus derivados. Combinando técnicas como a Análise Harmônica do Campo Magnético Tangencial, Análise Incremental da Permeabilidade Magnética e Análise Multi-frequência das Correntes Parasitas os resultados mostraram boa correlação entre os carregamentos aplicados e as medidas micromagnéticas, mostrando a grande aplicabilidade das técnicas magnéticas para a caracterização de materiais de engenharia.

Palavras-chaves: Confiabilidade Operacional, Risers Flexíveis, Métodos Magnéticos.

ABSTRACT

In some applications, the detection of defects is not enough for safety control. In these situations, non-destructive techniques must be adapted for stress analysis. This work presents the development of a micromagnetic stress analysis method, using a combination of the harmonic analysis of the tangential magnetic field, the incremental permeability and multi frequency eddy current methods, to be applied for the stress measurements of flexible riser tensile armours. The results showed high correlations between the micromagnetic results and the applied load stress, even in the presence of a lift off layer. This work illustrates the good potential of micromagnetic techniques for the stress characterization.

Keywords: Operational Confiability, Flexible Risers, Micromagnetic techniques.

1 INTRODUÇÃO

A falha catastrófica de componentes e estruturas vem sempre acompanhada de prejuízos financeiros inadmissíveis, justificando o interesse na melhoria contínua dos programas de manutenção da integridade estrutural. Para o caso das indústrias de energia e petróleo, além dos prejuízos associados às perdas de equipamentos e produtos, há de se acrescentar os danos à imagem da empresa, pela energia deixada de produzir e, principalmente, danos associados aos impactos ambientais e sociais causados pela falha que poderia ser evitada. Assim, torna-se de grande importância o desenvolvimento de sistemas eficientes de inspeção e monitoramento de componentes e estruturas, avaliando-se assim, suas durabilidade e confiabilidade [1].

Para o presente trabalho, sabe-se que grande parte do petróleo extraído na costa brasileira é transportada através de Risers Flexíveis, justificando o interesse no estudo de suas propriedades [2, 3]. A saber, Risers Flexíveis são estruturas multicamadas (Figura 1), utilizadas para o transporte de petróleo e seus derivados, geralmente em águas profundas [4, 5, 6].



Figura 1: Visualização estrutural da seção de um Riser Flexível do tipo Unbonded [5].

Atualmente a Petrobras S/A possui mais de 200 km de Risers Flexíveis em operação [6]. Dos casos registrados, tem-se constatado a falha da armadura de tração na região do conector (camada responsável pela sustentação mecânica) como um dos principais modos de falhas deste componente [6]. Em vista disto, para os mais de dois mil Risers instalados na Bacia de Campos a atividade de inspeção utilizada consiste nos monitoramentos visual e da pressão de gás do espaço anular. Alves e Costa [7] mostraram que, em geral, a falha catastrófica de dutos flexíveis é acompanhada pela ruptura progressiva dos arames da armadura de tração em regiões adjacentes à conexão. Os autores mostraram que para reduções do número de tiras superiores a 5% a ruptura progressiva dos arames na região do dano passa a ser o modo de falha predominante. Em caso de falha, os procedimentos de re-terminação são altamente dispendiosos, envolvendo a aquisição de novos acessórios, recursos de barco e lucro cessante [8, 9]. Diante deste cenário surge a demanda pelo desenvolvimento de ferramentas capazes de detectar a ruptura dos arames das armaduras de tração antes de uma possível queda do Riser [9, 10].

Como parte integral de todo bom programa de manutenção preditiva, os ensaios não destrutivos (END) têm encontrado grande aplicabilidade, destacando-se como vantagens sua velocidade de análise, baixo custo relativo, capacidade de automação e, especialmente, a capacidade de serem não invasivos, preservando a integridade do componente a ser analisado [11]. Usualmente os END são aplicados para a detecção de defeitos e discontinuidades que possam vir a comprometer a utilização do componente. Porém, com os avanços da Engenharia moderna, as aplicações atuais exigem um controle mais rigoroso de propriedades, fazendo-se necessária a caracterização do estado de tensões atuantes no componente [12]. Em vista disto, os pesquisadores têm dedicado esforços para o desenvolvimento de metodologias não destrutivas de caracterização do estado de tensões atuantes e de tensões residuais em componentes de engenharia.

Atualmente, tem-se dedicado atenção especial aos Métodos Micromagnéticos, devido às interações entre propriedades magnéticas e mecânicas em materiais de engenharia [1, 13, 14, 15, 16]. Esta interação se baseia no fato de que os defeitos estruturais se apresentam como obstáculos para o movimento de discordâncias, assim como para os movimentos das paredes de domínio magnético [14]. Assim, assume-se que, para os materiais ferromagnéticos, a configuração dos domínios magnéticos é diretamente influenciada pela configuração microestrutural, servindo como um sensor intrínseco para a caracterização das propriedades do material [15].

Para a caracterização de materiais através de técnicas micromagnéticas, a maioria das aplicações envolve a análise do Ruído Barkhausen [16, 17, 18].

Benitez et al [19] aplicaram a técnica de Análise do Ruído Barkhausen para a caracterização da dependência angular das propriedades magnéticas macroscópicas com a tensão aplicada, para amostras de aço ABNT A36. Os resultados mostraram a dependência angular da coercitividade e da permeabilidade magnética com a tensão aplicada. Martins et al [20] mostraram a boa relação entre as tensões residuais medidas por Difração de raios X e a intensidade máxima do Ruído Barkhausen. Analisando-se anéis para rolamentos do aço ABNT 52100, neste estudo, as medidas magnéticas proporcionaram uma caracterização mais completa da variação da distribuição de tensões residuais em amostras retiradas de diferentes etapas do processo de fabricação. Em outro trabalho, Martins e Reguly [21] mostraram a boa sensibilidade das medidas micromagnéticas para a análise de tensões em arames da armadura de tração de Risers flexíveis, na ausência do Lift off. Neste trabalho, bons resultados foram apresentados analisando-se amostras encruadas e recozidas, utilizando-se o método 3MA (Análise Magnética, Multi-paramétrica da Microestrutura e do estado de tensões). Este método combina quatro técnicas micromagnéticas de caracterização (Análise do Ruído Barkhausen, Análise Harmônica do Campo Magnético Tangencial, Análise da Permeabilidade Incremental e

Análise Multi-Frequência das Correntes Parasitas), em um único equipamento, fornecendo até 41 respostas micromagnéticas, como mostra a Tabela [1].

Tabela 1: Relação de parâmetros micromagnéticos utilizados na metodologia 3MA [1].

	Símbolo	Unidade	Descrição
AHCT	A_x	[A/cm]	Amplitude das harmônicas de x ordem
	P_x	[rad]	Ângulo de fase da Harmônica de x ordem
	H_{co}	[A/cm]	Campo coercivo, derivado da técnica AHCT
	H_{ro}	[A/cm]	Harmônica mais elevada de $H_t(0)$.
	K	[%]	Distorção Harmônica, $K = 100\% * (\sum A_x^2)^{1/2}$
	UHS	[A/cm]	Somatório das Amplitudes das Harmônicas $UHS = \sum A_x$
	V_{mag}	[V]	Amplitude da voltagem de saída para a análise Micromagnética
	AHCT	-	Análise Harmônica do Campo Magnético Tangencial
ARB	M_{max}	[V]	Amplitude Máxima da curva M(H) para um ciclo de magnetização
	$M_{médio}$	[V]	Sinal médio da curva M(H) para um ciclo de magnetização
	M_r	[V]	Sinal medido da curva M(H) para $H=0$ A/cm
	H_{CM}	[A/cm]	Campo coercivo, derivado de ARB
	DH_{yyM}	[A/cm]	Expansão da curva M(H) para $M=0,yy\%$ de M_{max}
	ARB	-	Análise do Ruído Magnético Barkhausen
API	μ_{max}	[V]	Amplitude Máxima da curva $\mu(H)$ para um ciclo de magnetização
	$\mu_{médio}$	[V]	sinal médio da curva $\mu(H)$ para um ciclo de magnetização
	μ_r	[V]	Sinal medido da curva $\mu(H)$ para $H=0$ A/cm
	$H_{C\mu}$	[A/cm]	Campo coercivo, derivado da API
	$DH_{yy\mu}$	[A/cm]	Expansão da curva $\mu(H)$ para $\mu=0,yy$ Mmax
	AIP	-	Análise da Permeabilidade Incremental
ACP	Re^*	[V]	Parte real do sinal de corrente parasita para a frequência de No^*
	Im^*	[V]	Parte Imaginária do sinal de corrente parasita para a frequência de No^*
	Mag^*	[V]	Magnitude do sinal de corrente parasita para a frequência de No^*
	Ph^*	[rad]	Ângulo de Fase do sinal de corrente parasita para a frequência de No^*
	ACP	-	Análise Multi-frequência das Correntes Parasitas

Através da combinação de parâmetros, o método permite separar os diversos fatores que influenciam no processo de crescimento dos domínios magnéticos fornecendo informações sobre o estado de tensões, dureza, queima de retífica, degradação, entre outras [24, 25].

Deste modo, buscou-se neste trabalho o desenvolvimento de metodologias de monitoramento do estado de tensões atuantes em Risers Flexíveis, com vistas para a análise dos carregamentos submetidos à armadura de tração, através da técnica Micromagnética 3MA. Para tal, foi utilizado um equipamento modelo 3MA-II, combinando as técnicas de Análise Harmônica do Campo Magnético Tangencial (AHCT), Análise da Permeabilidade Incremental (AIP) e Análise Multi-Frequência das Correntes Parasitas (ACP). A hipótese sustentada foi a de que a análise multi-paramétrica aumentaria o grau de representatividade dos resultados, separando-se eventuais fontes de imprecisão da análise de tensões, tais como: variações microestruturais, atenuação de sinais devido à presença de camadas não ferromagnéticas, variações geométricas, entre outros.

Este trabalho faz parte do Projeto Monflex – Monitoramento de Risers Flexíveis – Um projeto de pesquisa financiado pelo CENPES – Petrobras S/A o qual visa o desenvolvimento de sistemas mais confiáveis de inspeção, monitoramento e análise da integridade estrutural de Risers Flexíveis para as aplicações Off shore.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho, foram utilizadas amostras de arames da armadura de tração extraídas de Risers Flexíveis de seis polegadas. As amostras são confeccionadas em aço ABNT 1060, com dimensões de 300 x 9 x 4 em milímetros. O material apresentou dureza de 44 HRC e limite de escoamento de 892,43 MPa.

Foi utilizado um equipamento micromagnético modelo 3MA –II fabricado pelo Fraunhofer Institut da Alemanha. Para este estudo, foi customizado um sensor magnético de pequeno porte, com área de contato de 50 mm² e distância entre pólos magnéticos de 5 mm.

Em um trabalho anterior [1] foram testadas diferentes configurações de parâmetros de controle, a fim de otimizar a resposta micromagnética às variações de tensões submetidas às amostras. Assim, foi determinada a seguinte configuração de parâmetros:

$F_H = 200$ Hz, $H_{AHCT} = 35$ A/cm, $H_{AIP} = 25$ A/cm e $H_{ACP} = 15$ A/cm. Sendo F_H a frequência de magnetização, H_{AHCT} a intensidade do campo magnético para a técnica de Análise Harmônica do Campo Magnético Tangencial, H_{AIP} a intensidade do campo magnético para a técnica de Análise Incremental da Permeabilidade Magnética e H_{ACP} a intensidade do campo magnético para a técnica de Análise Multi-

freqüência das Impedâncias das Correntes Parasitas. Foram utilizadas as freqüências de análise de 200 Hz (AHCT), 20 kHz (AIP) 5, 10, 20 e 40 kHz (ACP). Para todos os ensaios, foram realizadas 40 medidas micromagnéticas, em cada patamar de carregamento.

As amostras foram submetidas a ensaios de tração, com e sem a presença do lift off, realizados com taxa de deformação de 10 kN/mm em uma maquina de ensaio modelo Instron H5585H. Os carregamentos aplicados corresponderam a 0, 10, 20,..., 90% do limite de escoamento do material (σ_e), sendo que, para as aplicações usuais dos Risers Flexíveis, a tensão de trabalho encontram-se entre 30 e 50% de σ_e [6].

A etapa seguinte consistiu na calibração da análise micromagnética através de regressão multilinear utilizando como base, os resultados obtidos para os valores de tensão de 0, 30, 60 e 90% do limite de escoamento do material. A seguir, as equações obtidas foram testadas para o restante dos resultados. O propósito deste estudo foi determinar o número mínimo de parâmetros micromagnéticos que forneça a melhor correlação linear, minimizando os desvios nos resultados. As calibrações foram realizadas com auxilio do programa MMS, fornecido com o equipamento [25].

A Figura 2 apresenta uma configuração dos equipamentos utilizados no ensaio.



Figura 2: Visualização da disposição dos ensaios de tração realizados.

3 RESULTADOS

Primeiramente, foram realizados os ciclos de carregamento sem a presença do Lift off. Os resultados obtidos foram utilizados como referência para a análise da intensidade do sinal. A seguir, foram realizados os ensaios, considerando-se a presença de uma camada polimérica entre o sensor magnético e a amostra. Os ensaios foram repetidos para quatro referências de Lift off (1, 5, 9 e 13 mm). Os resultados estão apresentados na Tabela 2, onde se percebe a grande atenuação dos sinais magnéticos, a medida que se aumenta o Lift off.

Tabela 2: Relação entre variação da intensidade dos sinais Micromagnéticos e da correlação com o carregamento externo, considerando a variação do Lift Off.

Resultado			Intensidade do Sinal					r ²				
Lift Off [mm]			0	1	5	9	13	0	1	5	9	13
Parâmetro	□	□										
AHCT	V _{mag}	V	100	38	36	36	36	0,9605	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	A ₃	A/cm	100	7	6	6	6	0,9495	0,0917	0,1939	0,0048	0,0048
	A ₅	A/cm	100	1	1	1	1	0,9611	0,2207	0,0529	0,2551	0,2551
	A ₇	A/cm	100	6	5	6	5	0,9527	0,2488	0,0483	0,0090	0,0090
	P ₃	°	0	14	12	14	13	0,9166	0,5869	0,0022	0,0095	0,0095
	P ₅	°	0	-15	-14	-13	-13	0,9008	0,5094	0,0773	0,1718	0,1718
	P ₇	°	0	-84	-92	-96	-95	0,9387	0,0247	0,3307	0,0112	0,0112
	UHS	A/cm	100	6	5	5	5	0,9534	0,3215	0,0560	0,0678	0,0678
	K	%	100	7	6	6	6	0,9697	0,1135	0,1931	0,0015	0,0015
	H _{co}	A/cm	100	103	100	101	101	0,4612	0,5587	0,0785	0,0079	0,0079
H _{ro}	A/cm	100	6	6	6	6	0,9453	0,4834	0,0832	0,0304	0,0304	
API	μ _{max}	V	100	14	12	12	12	0,9595	0,6583	0,3578	0,4802	0,4802
	μ _{médio}	V	100	17	14	14	14	0,9605	0,5772	0,0751	0,5738	0,5738
	μ _r	V	100	15	12	12	12	0,9134	0,7283	0,2948	0,0544	0,0544
	ΔH25μ	A/cm	100	81	87	86	86	0,0473	0,2752	0,0004	0,3911	0,3911
	ΔH50μ	A/cm	100	104	104	103	103	0,5173	0,0024	0,3796	0,6583	0,6583
	ΔH75μ	A/cm	100	112	112	112	111	0,3313	0,0004	0,3438	0,6348	0,6348
	H _{cμ}	A/cm	100	127	129	128	128	0,2408	0,0108	0,2172	0,3062	0,3062
ACP	Re ₁	V	100	87	1	0	0	0,9439	0,9562	0,9162	0,7117	0,7117
	Im ₁	V	100	96	0	4	4	0,9764	0,7332	0,8834	0,8101	0,8101
	Mag ₁	V	100	88	1	1	1	0,9130	0,9291	0,8754	0,8027	0,8027
	Ph ₁	°	0	181	-213	-265	-265	0,9931	0,8196	0,9433	0,6513	0,6513
	Re ₂	V	100	87	0	1	1	0,5138	0,0033	0,9481	0,8964	0,8964
	Im ₂	V	100	81	2	2	3	0,9341	0,8730	0,8501	0,7695	0,7695
	Mag ₂	V	100	85	1	2	2	0,8704	0,9307	0,9015	0,7873	0,7873
	Ph ₂	°	0	178	36	91	86	0,9641	0,8084	0,7667	0,7133	0,7133
	Re ₃	V	100	25	20	38	46	0,9404	0,6983	0,9260	0,7921	0,7921
	Im ₃	V	100	80	1	0	1	0,5138	0,9107	0,3603	0,7194	0,7194
	Mag ₃	V	100	80	2	2	3	0,5431	0,9104	0,9235	0,7778	0,7778
	Ph ₃	°	0	177	43	85	73	0,9568	0,6923	0,4422	0,6862	0,6862
	Re ₄	V	100	72	2	2	4	0,3584	0,8660	0,7072	0,7452	0,7452
	Im ₄	V	100	78	1	4	2	0,5416	0,8606	0,9318	0,0365	0,0365
	Mag ₄	V	100	73	2	2	4	0,1216	0,9113	0,9207	0,7599	0,7599
	Ph ₄	°	0	0	12	11	9	0,0598	0,4000	0,8525	0,8007	0,8007
Média								0,7360	0,5210	0,4686	0,4449	0,4449

Percebe-se na Tabela 2 que para a condição sem Lift off, o número de parâmetros com boa correlação (r² > 70%) é consideravelmente maior do que para os demais casos. A camada de Lift off causou uma grande atenuação de sinais e perda da correlação com os carregamentos externos

A partir do conjunto de resultados obtidos na etapa anterior, procede-se a calibração das técnicas micromagnéticas. Este processo foi conduzido com a utilização do software MMS, através do módulo de calibração por regressão linear multi-paramétrica. Nesta etapa, buscou a determinação de equações de calibração, as quais empregassem o menor número de parâmetros micromagnéticos e obtivesse a melhor correlação com a variação de carregamentos. Os resultados estão apresentados nas equações, a seguir:

$$\sigma_{3MA-0mm} = 1644,33 + 194,71A_3 + 34,53A_5 - 63,28P_3 - 5,4P_5 - 80,62K - 16235,86Im_1 + 2749,84Ph_1 - 17501,47Im_2 - 11036,58Mag_2 - 2167,44Ph_2 \quad (r^2 = 100\%) \quad (1)$$

$$\sigma_{3MA-1mm} = 154209,91 + 13,92\Delta H75\mu + 398547,73Re_1 - 488337,94Mag_1 - 23859,07Ph_1 + 479018,02Re_2 + 287211,97Im_2 - 655493,22Mag_2 - 859102,03Re_3 - 86738,62Ph_3 \quad (r^2 = 94,5\%) \quad (2)$$

$$\sigma_{3MA-5mm} = -2868,9 + 35713,59\mu_{max} - 30766,1\mu_{médio} - 83455,1Im_1 + 362829,49Re_2 - 744940,09Im_2 - 533149,66Mag_2 - 1006,39Ph_2 + 31489,1Re_3 \quad (r^2 = 90,1\%) \quad (3)$$

$$\sigma_{3MA-9mm} = -627,73 + 21352,49\mu_{\max} - 20902,02\mu_{\text{médio}} - 157810,07\text{Re}_1 - 1295894,58\text{Im}_1 - 1260771,63\text{Mag}_1 - 27493,5\text{Re}_2 + 63848,6\text{Mag}_2 + 15513,45\text{Mag}_3 \quad (r^2 = 97,9\%) \quad (4)$$

$$\sigma_{3MA-13mm} = 131,48 + 14498,86\mu_r - 21,39\Delta H 50\mu - 111206,12\text{Im}_1 - 25125,21\text{Im}_3 + 302,2\text{Ph}_3 - 79,24\text{Ph}_4 \quad (r^2 = 88,4\%) \quad (5)$$

A análise destas equações, mostra que a medida que o sinal vai sendo atenuado, o programa MMS vai buscando novas combinações de parâmetros para encontrar uma melhor correlação linear com o estado de carregamento externo, mesmo para sinais de reduzida intensidade. A Figura 3 apresenta as relações entre os carregamentos aplicados e as tensões medidas através da técnica 3MA. Percebe-se que a presença do Lift off resulta em um aumento da imprecisão deste método, contudo, os resultados podem ser considerados qualitativamente satisfatórios, para as tensões medidas na escala elástica. Quantitativamente, bons resultados foram encontrados para valores de Lift off inferiores a 5 mm, para as tensões inferiores à 70% do limite de escoamento do material.

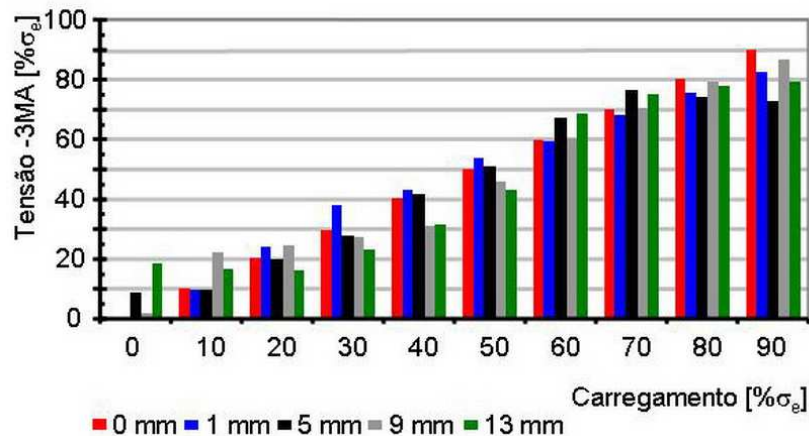


Figura 3: Relação entre os carregamentos externos e as tensões determinadas através da análise micromagnética do estado de tensões em arames da armadura de tração de Risers flexíveis com a presença de Lift off.

4 DISCUSSÃO

Os resultados mostraram a aplicabilidade do método 3MA, para a caracterização do estado de tensões em componentes de engenharia.

A apresentou as variações das intensidades dos sinais obtidos para os ensaios conduzidos com a variação de Lift off. Nota-se que a partir da distância de 1 mm, a atenuação dos sinais foi considerável, sendo mais pronunciada para as técnicas de Análise Harmônica do Campo Magnético Tangencia (AHCT) e de Análise Incremental da Permeabilidade Magnética (AIP). Para a técnica de Análise Multi-frequência das Correntes Parasitas (ACP) a atenuação dos sinais foi menos pronunciada para a camada de 1 mm, acima deste valor, os sinais foram consideravelmente atenuados, reduzindo a precisão e a confiabilidade do método. Apesar disto, foi possível, principalmente através dos resultados da Análise Multi-frequência das Correntes Parasitas, obter boa correlação entre os resultados micromagnéticos obtidos quando o sensor foi posicionado sobre a camada polimérica.

A pouca variação dos valores de coercitividade medidos (Hco), aponta para a pouca atenuação do campo magnético aplicado devido à presença do Lift Off. Este resultado prova que o Lift off modifica a permeabilidade magnética do circuito, mas não altera a permeabilidade do material analisado [26]. Apesar dos bons resultados obtidos anteriormente, através da combinação das técnicas AHCT e AIP, para as medidas realizadas sem a presença do Lift off [21], percebe-se, na Tabela 2, que tais resultados não podem ser alcançados sem a utilização da técnica ACP, para as medidas realizadas com a presença do Lift off.

É importante lembrar que, apesar das altas correlações anteriormente apresentadas nas equações 1 – 5, a Figura 3 apresenta algumas divergências entre os resultados esperados (carregamento aplicado) e os obtidos através das medidas micromagnéticas, após a correlação linear multi – paramétrica.

Esta relação entre atenuação e representatividade, serve de indicio para a formulação de uma hipótese que relacione a confiabilidade dos resultados com as características do sensor magnético. Uma vez que os parâmetros de controle são dependentes das propriedades magnéticas da amostra, a relação entre a penetração do campo magnético e a atenuação do sinal de saída pode depender da relação entre a geometria da amostra, a geometria do sensor e o Lift off.

5 CONCLUSÕES

Os resultados mostraram a aplicabilidade do método 3MA, para a caracterização do estado de tensões em componentes de engenharia.

Bons resultados foram encontrados em toda a escala elástica do material.

A presença da camada não ferromagnética resultou numa grande atenuação dos sinais medidos. Sendo que para a técnica de Análise Multi – frequência das Correntes Parasitas, esta atenuação foi menos significativa.

A pouca variação dos valores de coercitividade medidos (H_{co}), aponta para a pouca atenuação do campo magnético aplicado devido à presença do Lift Off.

Para os casos analisados, boas correlações entre os carregamentos e parâmetros micromagnéticos foram obtidas, mostrando a potencialidade do método para o monitoramento do estado de tensões atuantes em Risers Flexíveis.

Os resultados apontam para a dependência entre a geometria do sensor e o Lift Off, justificando a continuidade do estudo e o desenvolvimento de novos sensores e adaptadores para a aplicação em escala real

6 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Petrobras S/A e ao CNPq pelo apoio financeiro.

7 BIBLIOGRAFIA

- [1] MARTINS, C.O.D., *Desenvolvimento de Metodologias de Inspeção e Monitoramento de Risers Flexíveis através de Técnicas Micromagnéticas de Análise de Tensões*, Tese de D. Sc., pp. 134, UFRGS, RS, Brasil, 2008.
- [2] NETO, J. B. O., & COSTA, A. J. D., “A Petrobras e a exploração de petróleo Off shore no Brasil: um approach evolucionário”, *Revista Brasileira de Economia*, v. 61, n. 1, pp. 95-109, RJ, Jan/Mar. 2007.
- [3] “A importância da Produção em águas profundas”, Extraído de:
<http://www.coopetroleo.com.br/pagua01.htm>, acessado em setembro de 2007.
- [4] LEMOS, Carlos Alberto Duarte de, *Análise de Fadiga em Risers Flexíveis*, Tese de D. Sc., pp. 248, UFRJ, RJ, 2005.
- [5] RUBIN, A., Gudme, J., “Qualification of Steel Wire for Flexible Pipes”, In: *61ST ANNUAL CONFERENCE & EXPOSITION – CORROSION*, NAC Expo 2006, paper n° 06149 , March 12-16, San Diego, Califórnia, USA., 2006.
- [6] MARINHO, M. G., Santos, J. M., Carneval, R. O., “Integrity Assessment and Repair of Flexible Risers”, In: *Proceedings of OMAE 2006 – 25th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, Hamburgo, Alemanha, 2006.
- [7] ALVES, T. M. J., Costa, L. C. S., “Resistência Residual de Linhas Flexíveis com Defeitos Naturais”, *Bol.Téc. PETROBRAS*, RJ, 44(1/4): 60-74, jan./dez., 2001.
- [8] OUT, J. M. M., et al, “The integrity of Flexible pipe: Search for an inspection strategy”, *Engineering Structures*, v.17, n. 4, pp 305 – 314, 1996.

- [9] CARNEVAL, R.O., MARINHO, M. G., SANTOS, J. M., “Flexible Line Inspection”, ECNDT-Poster 106, In: *9th European NDT Conference (ECNDT)*, Berlin, Alemanha, 2006.
- [10] MARINHO, M. G., *et al*, “Surface Monitoring Techniques for a Continuous Flexible Riser Integrity Assessment”, In: *Offshore Technology Conference, OTC*, pp. 18946, USA, 2007.
- [11] BRAY, D. E., “Historical review of Technology Development in NDE”, 15^o WCNDT, Roma, Italia, 2000.
- [12] ASM International Handbook Committee, *SM Handbook: Volume 17, Nondestructive Evaluation and Quality Control*, ASM International, 1989.
- [13] BUTTLE, D. J., MOORTHY, V., SHAW, B., “The measurement of Residual Stresses by Magnetic Methods – Maps and Barkhausen, A National Measurement Good Practice Guide n^o 88”, NPL, Inglaterra, 2006.
- [14] DOBMANN, G., *et al*, “Industrial Applications of 3MA – Micromagnetic Multiparameter Microstructure and Stress Analysis”, In: *5th International Conference Structural Integrity of Welded Structures (ISCS2007)*, Romania, 2007.
- [15] TÖNSHOFF, H.K, KARPUSCHEWSKI, B., REGENT, C., “Process Monitoring in Gridding Using Micromagnetic Techniques”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, pp. 694 – 698, 1999.
- [16] HAUKE, V., “Structural and residual stress Analysis by Non-destructive Methods, Evaluation Application, Assessment”, Elsevier, 1997.
- [17] GAUTHIER, J., *et al* “Measurement of Residual Stress in Steel Using the Magnetic Barkhausen Noise Technique”, *NDT & E International*, v. 31, n. 1, pp. 23–31, 1998.
- [18] DOBMANN, G., *et al*, “Barkhausen Noise Measurements and Related Measurements in Ferromagnetic Materials”, *Sensing for Materials Characterization, Processing, and Manufacturing - Volume 1 - Topics on Nondestructive Evaluations Series*, pp. 233 – 251, 1998.
- [19] PÉREZ-BENITEZ, J.A., CAPO-SANCHEZ, J., PADOVESE, L.R., “Characterization of angular dependence of macroscopic magnetic properties in ASTM 36 steel using magnetic Barkhausen noise”, *NDT&E International*, v. 40, pp. 284–288, 2007.
- [20] MARTINS, C.O.D., *et al*, “Comparação entre Técnicas de Análise de Tensões Residuais em Anéis de Rolamento do Aço ABNT 52100”, *Revista Matéria*, v. 9, n. 1, pp 23 – 31, 2004.
- [21] MARTINS, C.O. D., Reguly, A., “Micromagnetic stress evaluation of flexible riser tensile armours”, *Insight*, v. 51, n. 1, pp. 8 – 12. , 2009.
- [22] TITTO, K., “Use of Barkhausen Effect in Testing for Residual Stresses and Materials Defects”, In: *Handbook of Residual Stress and Deformation*, ASM, pp. 27–35, 2002.
- [23] DOBMANN, G., “Residual Stress Measurement of Components by NDT”, *Journal of Non Destructive Evaluation*, v. 21, n. 1, pp. 29 – 37, 2001.
- [24] DOBMANN, G., *et al*, “Industrial Applications of 3MA – Micromagnetic Multiparameter Microstructure and Stress Analysis”, In: *5th International Conference Structural Integrity of Welded Structures (ISCS2007)*, Romania, 2007.
- [25] “3MA – II System – User Manual”, Fraunhofer - Institut Nondestructive testing (IZFP), 2007.
- [26] TIAN, G. Y., SOPHIAN, A., “Reduction of Lift off effects for pulsed eddy current NDT”, *NDT & E International*, v. 38, pp 319 – 324, 2005.