



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) BR 112015015004-7 B1



(22) Data do Depósito: 23/12/2013

(45) Data de Concessão: 15/06/2021

(54) Título: DISPOSITIVO MAGNÉTICO COMPREENDENDO UMA UNIDADE DE ACELERAÇÃO QUE ATUA SOBRE O TRANSLADADOR

(51) Int.Cl.: H02K 33/16; H01F 7/16.

(30) Prioridade Unionista: 21/12/2012 AT A1334/2012.

(73) Titular(es): SEH LIMITED.

(72) Inventor(es): HEIN, JÉRÉMY; MARSCHNER VON HELMREICH, MARTIN.

(86) Pedido PCT: PCT EP2013077888 de 23/12/2013

(87) Publicação PCT: WO 2014/096444 de 26/06/2014

(85) Data do Início da Fase Nacional: 22/06/2015

(57) Resumo: DISPOSITIVO MAGNÉTICO COMPREENDENDO UMA UNIDADE DE ACELERAÇÃO QUE ATUA SOBRE O TRANSLADADOR. A invenção refere-se a um dispositivo magnético compreendendo pelo menos um estator excitado magneticamente (1) e um transladador excitado magneticamente (2), transladador (2) este que é móvel ao longo de um caminho de deslocamento de transladador (3) em uma direção de deslocamento de transladador (4) em relação ao estator (1), no qual o estator (1) é um magneto permanente e o transladador (2) é um eletromagneto, ou o estator (1) é um eletromagneto e o transladador (2) é um magneto permanente, onde uma força magnética atua entre o estator (1) e o transladador (1), o transladador (2) sendo acoplado, pelo menos em partes do caminho de deslocamento de transladador (3), a uma unidade de aceleração (5), que após acoplamento do transladador (2) com a unidade de aceleração (5), gera um estado de força de aceleração compreendendo pelo menos uma força de correção $F_{corr}(x)$ que atua sobre o transladador (2), cujo estado de força de aceleração é orientando em afastamento a partir do estator (1) em uma direção de deslocamento do transladador (2), no qual o transladador (2) pode ser separado a partir da força de captura por meio da força corretiva, cuja força de captura pode ser determinada por medições quando o eletromagneto não é suprido com (...).

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para “**DISPOSITIVO MAGNÉTICO COMPREENDENDO UMA UNIDADE DE ACELERAÇÃO QUE ATUA SOBRE O TRANSLADADOR**”.

[0001] Esta invenção refere-se a um dispositivo magnético compreendendo pelo menos um ímã estator magneticamente excitado e pelo menos um ímã transladador magneticamente excitado, referido ímã transladador sendo móvel ao longo de um percurso de deslocamento de transladador em uma direção de deslocamento de transladador em relação ao referido ímã estator, no qual o estator é um ímã permanente, e o transladador é um eletroímã, ou o estator é um eletroímã, e o transladador é um ímã permanente, no qual uma força magnética $F(x,J)$ age entre o estator e o transladador, com $x \geq 0$ sendo a distância entre o estator e o transladador, e J sendo a densidade de corrente do eletroímã, referido transladador sendo acoplado, pelo menos em porções do percurso de deslocamento de transladador, a uma unidade de aceleração, que gera um estado de força de aceleração compreendendo uma força de correção F_{corr} que atua sobre o transladador quando o transladador é acoplado à unidade de aceleração, cujo estado de força de aceleração é orientado distante a partir do estator em uma direção de deslocamento do transladador.

[0002] Por razões de simplificação, abaixo, o ímã estator será chamado de estator, e o ímã transladador será chamado de transladador.

[0003] Discos magnéticos de acordo com o estado da técnica compreendem pelo menos um estator e um transladador, transladador este que é móvel em relação ao estator pela utilização de forças magnéticas de atração e de repulsão atuando entre o estator e o transladador. Do documento AT20110001260 20110905 (Depositantes: Jeremy Hein, Martin Marschner von Helmreich) é conhecido que as forças de atração e de repulsão são essencialmente uma função da distância entre o estator e o transladador. A soma total de todas as forças atuando sobre o transladador e fazendo com que o transladador se desloque pode

ser otimizada pelo ajuste da distância entre o transladador e o estator mais próximo.

[0004] O estado de força provocado pelas forças magnéticas de atração e atuando sobre o transladador pode alcançar seu máximo no transladador em deslocamento na direção do estator a uma distância (r) do estator. No caso de deslocamento na direção oposta do transladador, isto é, quando o transladador se desloca em afastamento do estator, as forças de atração podem ser ativas entre o estator e o transladador em deslocamento quando a distância (r) é significativamente pequena.

[0005] No caso de uma distância suficientemente pequena entre o estator e o transladador, o estator e o transladador atuam, independentemente da polaridade do estator e do transladador, como ímãs. A distância suficientemente pequena é, entre outras coisas, determinada pela potência do campo do transladador em relação ao estator ou inversamente. A potência do campo do transladador pode ser baixa em comparação com o estator durante a operação de um dispositivo magnético, for exemplo, durante a reversão de polaridade de um eletroímã.

[0006] No caso de uma distância suficientemente pequena entre o estator e o transladador, o deslocamento do transladador em afastamento do estator é evitado ou desacelerado pelas forças de atração entre o estator e o transladador. Este efeito conhecido no estado da técnica é chamado de “captura” do transladador no estator. Isto reduz a saída de um dispositivo magnético que funciona, por exemplo, como um disco magnético.

[0007] O documento DE10003928 e o estado da técnica apresentado no DE10003928 revela dispositivos magnéticos compreendendo eletroímãs nas posições terminais das trajetórias de movimento do transladador. O eletroímã está desligado na primeira posição terminal para mover o transladador de uma primeira posição terminal para uma segunda posição terminal (ver DE10003928), coluna 1, linhas 23-41, D1 coluna 6,

linhas 19-22). Devido ao desligamento do eletroímã na primeira posição terminal, o problema de separar o transladador do ímã na primeira posição terminal não pode ser solucionado, conforme citado na introdução da descrição do pedido de patente. No DE10003928, a função da mola é mover o transladador a uma certa posição, enquanto que o eletroímã está desligado.

[0008] Na página 3, linhas 101-13, o WO2007063222 revela que a válvula não está aberta quando existe um desequilíbrio (de forças) causado pelos eletroímãs. A abertura da válvula (posição de equilíbrio) é alcançada por uma mola, por exemplo.

[0009] Desse modo, o efeito da mola difere do efeito da unidade de aceleração revelada no pedido. O problema de captura não é descrito no WO200763222.

[0010] O documento DE102007051917 revela um dispositivo compreendendo pelo menos um eletroímã e uma mola, a mola e o eletroímã interagindo entre si. De acordo com o parágrafo [0009] do DE102997051917, o transladador pode ser movido para uma posição terminal por energização ou desenergização do eletroímã.

[0011] O documento DE102997051917 não proporciona indicação da mola servindo para separar o transladador do eletroímã. À medida que o efeito da mola revelada no pedido não é mencionado no DE102997051917, a nova reivindicação 1 é para ser relacionada como nova em relação ao DE102997051917.

[0012] De acordo com a revelação do parágrafo [0017] do DE102997051917, as molas servem para superar a adesão da placa de âncora ao eletroímã desligado causada pela magnetização residual. Este efeito das molas não corresponde ao efeito da mola revelado no pedido.

[0013] De acordo com a revelação do pedido, a unidade de aceleração causa uma separação do transladador a partir do estator, que age como ímãs. Isto é condicional sob nenhum dos eletroímãs sendo desligado. Referência é feita à explanação acima como porque a

reivindicação 1 é nova com relação ao documento DE102006013013.

[0014] O parágrafo [0032] do EP1995090 revela que a mola é um elemento puramente de suporte (mola de suporte para suporte do veículo). O efeito da unidade de aceleração revelado no pedido não é descrito no D5.

[0015] De acordo com a revelação do US8222754, a mola é porção de um sistema oscilante. O US8222754 não revela um efeito similar ao efeito da unidade de aceleração revelado no pedido. A reivindicação 1 é para ser relacionada como nova em relação a D6.

[0016] Do mesmo modo, o EP1320178 não proporciona uma indicação do tamanho da mola que age em adição a um atuador linear eletromagnético. Além disso, o problema do estator e do transladador que agem como ímãs, quando o transladador é suficientemente próximo ao estator, não é mencionado no EP1320178, de modo que um técnico no assunto não pode deduzir a magnitude da força de mola do EP1320178, ou deduzir um efeito da mola descrito no EP1320178, que seria similar à unidade de aceleração descrita abaixo.

[0017] O documento DE102997051917 apresenta um dispositivo magnético compreendendo um atuador provido na forma de um eletroímã e um elemento em mola para gerar uma força na direção do movimento.

[0018] O documento DE102997051917, entretanto, não menciona o problema discutido no presente relatório no que diz respeito aos efeitos que o estator e o transladador agem como ímãs, pelo menos quando o transladador é deslocado para próximo o suficiente do estator. Desta forma, um técnico no assunto não tentaria criar um estado inventivo de equilíbrio de forças ou estado de desequilíbrio de forças tal como descrito abaixo. O documento DE102997051917 não contém quaisquer especificações no que diz respeito à magnitude da força a ser produzida na direção do movimento, desta forma, um técnico no assunto não é capaz de deduzir a magnitude da força de mola de DE102997051917.

[0019] O documento DE10003928 apresenta um atuador

eletromagnético com um mecanismo de mola atuando sobre o transladador. De acordo com o relatório de DE10003928, o mecanismo de mola funciona como um mecanismo de reversão do transladador. O problema por trás da presente invenção de separação do transladador do estator quando o transladador se desloca em afastamento do estator não discutido no documento DE10003928.

[0020] No documento WO2007063222, a mola funciona para deslocar o atuador para uma posição fechada no caso da falha de uma bobina. Desse modo, o problema da invenção não é tratado no documento WO2007063222.

[0021] A mola no dispositivo descrito no documento DE202009014192 não apresenta efeito sobre o deslocamento do transladador, mas funciona para acoplar vários dispositivos.

[0022] A invenção discutida aqui procura solucionar o problema de prover um dispositivo magnético que, comparado com os dispositivos de acordo com o estado da técnica, compreende um componente adicional para reduzir ou evitar o efeito de captura do transladador no estator. No que se segue, o estado da força causado pelo efeito de captura é chamado de “estado de força de captura”.

[0023] De acordo com a invenção, isto é alcançado pelo fato de que $F(x,J)$ é uma força de captura magnética, cuja força de captura pode ser determinada por medição quando o eletroímã não é suprido com uma corrente, e que a) quando o transladador se desloca em afastamento do estator, a soma total das forças que atuam sobre o transladador na direção de deslocamento do transladador é maior do que zero, $F(x,J=0) + F_{\text{corr}}(x) > 0$, onde $F_{\text{corr}}(x) > -F(x,J=0)$, ou, b) quando o transladador se move em direção ao estator, a soma total das forças que agem no transladador contra a direção de deslocamento do transladador é menor do que zero, $F(x,J=0) + F_{\text{corr}}(x) > 0$, onde $F_{\text{corr}}(x) < -F(x,J=0)$, ou, c) quando o transladador e o estator estão em uma condição de equilíbrio, a soma total das forças que agem no transladador é zero, $F(x,J=0) + F_{\text{corr}}(x) > 0$, onde

$F_{\text{corr}}(x) < -F(x, J=0)$, ou, de tal forma que o transladador pode ser separado da força de captura $F(x, J=0)$ por meio da força corretiva $[F_{\text{corr}}(x)] \geq -[F(x, J=0)]$.

[0024] O dispositivo magnético inventivo pode ser um disco magnético, um gerador, um elemento resistor ou qualquer outro dispositivo no qual um transladador é deslocado em relação ao estator, principalmente ou também apenas parcialmente devido a forças geradas pelos campos magnéticos.

[0025] Se a distância entre o transladador e o estator for suficientemente pequena, o estator e o transladador atuam como ímãs, de tal forma que o transladador é deslocado na direção do estator.

[0026] A força de aceleração causada pela unidade de aceleração é orientada em uma direção de deslocamento do transladador em afastamento do estator. O efeito da força de aceleração pode ser limitado à porção do percurso de deslocamento do transladador na qual ocorre o efeito de captura descrito acima.

[0027] Em porções do percurso de deslocamento do transladador, a força de aceleração pode ser sobreposta pela força de captura. A força de captura é basicamente caracterizada pelas forças de atração atuando entre o estator e o transladador. A força de aceleração atua, dependendo de sua magnitude, completamente ou parcialmente contra a força de captura.

[0028] A unidade de aceleração pode gerar a força com base em forças geradas mecanicamente ou em forças magnéticas. A unidade de aceleração pode gerar a força de aceleração por meio de uma deformação prévia de um corpo pelo menos parcialmente elasticamente deformado, similar, por exemplo, a uma mola. A deformação do corpo elástico pode ser causada por um deslocamento do transladador. Normalmente, a deformação do corpo elástico é causada durante um deslocamento do transladador pelo menos parcialmente na direção do estator antes do efeito de captura ocorrer e/ou antes do transladador alcançar uma região

suficientemente próxima do estator onde o efeito de captura ocorre subsequentemente.

[0029] Uma realização do dispositivo magnético inventivo pode ser caracterizada pela unidade de aceleração sendo operativamente acoplada ao transladador ao longo de todo o percurso de deslocamento do transladador.

[0030] Dependendo da distância entre o transladador e o estator, a unidade de aceleração pode ser influenciável quando o transladador se aproxima do estator e/ou a unidade de aceleração pode, dependendo da distância entre o transladador e o estator, criar a força de aceleração.

[0031] Quando o transladador é acoplado à unidade de aceleração e o transladador se desloca na direção do estator, a soma total das forças atuando sobre o transladador na direção oposta à direção de deslocamento do transladador pode ser menor ou igual a zero.

[0032] Quando o transladador é acoplado à unidade de aceleração e o transladador se desloca na direção do estator, a soma total das forças atuando sobre o transladador na direção de deslocamento do transladador pode ser maior do que ou igual a zero.

[0033] O dispositivo magnético inventivo descrito aqui não está limitado ao posicionamento da unidade de aceleração em uma região entre o estator e o transladador. O posicionamento da unidade de aceleração nesta região constitui meramente em uma possibilidade do posicionamento inventivo da unidade de aceleração. A unidade de aceleração pode ser também disposta lateralmente em relação ao percurso de deslocamento do transladador e se estender em qualquer ângulo no percurso de deslocamento do transladador.

[0034] A mola pode ser formada também integralmente com um elemento de suporte, o qual funciona para suportar o transladador que desliza em um eixo do transladador. A mola pode ser provida como um feixe de mola ou uma mola espiral. O elemento de suporte pode compreender um material elástico, material elástico este que é deformado

durante a operação do dispositivo magnético inventivo.

[0035] De acordo com o estado da técnica, a força que atua sobre um transladador é a soma total dos estatores e transladadores ativos nesta área e depende da distância entre o respectivo estator e transladador. A força de captura, que ocorre com o efeito de captura descrito acima quando o transladador se desloca em afastamento do estator, atua de forma análoga quando a mola é formada de maneira correspondente. A invenção descrita aqui pode ser caracterizada pela unidade de aceleração gerando a força de aceleração dependendo da distância temporária entre o transladador e o estator.

[0036] A característica acima da unidade de aceleração pode, por exemplo, ser alcançada por meio de uma mola com formatos geométricos diferentes ao longo do comprimento da mola ou por meio de propriedades diferentes do material da mola ao longo do comprimento da mola. De maneira análoga, por exemplo, deve ser provido um corpo elasticamente deformável.

[0037] A realização a seguir do dispositivo magnético inventivo pode ser vantajosa quando a unidade de aceleração é latente em dependência da aproximação do transladador ao estator. No contexto da discussão da presente invenção uma latência descreve, similar à latência de uma mola, uma condição na qual a unidade de aceleração armazena uma força ou distorção suprida para uma unidade de aceleração para liberação futura. De acordo com a invenção, a liberação futura da força ou distorção fornecida serve para separar o transladador capturado no estator.

[0038] Uma possível realização do dispositivo magnético inventivo pode ser caracterizada pela unidade de aceleração sendo acoplada ao transladador, bem como um ponto fixo e se estendendo pelo menos parcialmente entre o transladador e o ponto fixo.

[0039] O ponto fixo pode ser um objeto posicionado no exterior do dispositivo inventivo. O ponto fixo pode ser também uma porção do dispositivo, tal como uma porção de armação ou uma porção de

alojamento. O ponto fixo pode ser estacionário ou deslizante em relação ao estator.

[0040] O estator pode ser o ponto fixo.

[0041] A unidade de aceleração pode ser um ímã adicional, que é acoplado ao translador e é comutado para acelerar o translador. O ímã adicional pode ser um ímã permanente e/ou um eletroímã.

[0042] A unidade de aceleração pode adicionalmente compreender um atuador, de modo que a condição de força, de acordo com os princípios chave da presente invenção, pode ser usada quando o atuador é acoplado ao translador. O atuador pode ser, por exemplo, um motor elétrico do estado da técnica, e/ou dispositivo pneumático, e/ou dispositivo hidráulico.

[0043] A unidade de aceleração pode ser provida na forma de uma mola, mola esta que apresenta um componente de força de mola atuando em paralelo à direção de deslocamento do translador.

[0044] O componente de força de mola, desta forma, atua em oposição às forças causadas pelo efeito de captura. A mola é influenciada pelo deslocamento do translador na direção do estator, onde a força armazenada na mola é liberada durante o deslocamento do translador em afastamento do estator.

[0045] A descrição acima refere-se a um percurso de deslocamento do translador linear, bem como poligonal. Uma linha do percurso de deslocamento do translador pode correr através do estator.

[0046] Possíveis realizações do dispositivo magnético inventivo compreendem qualquer possível combinação de eletroímãs e ímãs permanentes, em particular o provimento do estator e do translador na forma de ímãs permanentes ou eletroímãs.

[0047] O estator pode ser um ímã permanente, e o translador pode ser um eletroímã.

[0048] O estator pode ser um eletroímã, e o translador pode ser um eletroímã.

[0049] De acordo com o conhecimento geral, os eletroímãs e/ou os ímãs permanentes devem ser polarizados de tal forma que um deslocamento ou uma posição definida do transladador em relação ao estator pode ser obtido por meio das forças de repulsão ou de atração.

[0050] Quando o estator e/ou o transladador são providos na forma de eletroímãs, o estator e/ou o transladador podem atuar como ímãs adicionais. Isto pode ser obtido pela alteração do campo magnético do estator e/ou do transladador durante um período de tempo definido. O período de tempo definido pode ser escolhido dependendo da posição do transladador em deslocamento.

[0051] O dispositivo magnético inventivo pode compreender um dispositivo de controle para controlar a polarização do eletroímã e para controlar a potência do eletroímã dependendo da força de aceleração.

[0052] Abaixo, o efeito de uma unidade de aceleração como porção do dispositivo magnético inventivo será descrito em referência às figuras a seguir e descrição correspondente das figuras complementando a descrição acima.

[0053] Nas figuras, os seguintes elementos são identificados pelas seguintes referências numéricas:

[0054] estator

[0055] transladador

[0056] percurso de deslocamento do transladador

[0057] direção de deslocamento do transladador

[0058] unidade de aceleração

[0059] ponto fixo

[0060] mola

[0061] F_{corr} força corretiva

[0062] As Figuras 1 a 16 referem-se a um dispositivo magnético compreendendo um estator e um transladador. As Figuras 17 a 28 referem-se a um dispositivo magnético compreendendo um estator e dois transladadores.

[0063] Além disto, por razões de simplificação, na medida em que é do conhecimento geral de técnicos no assunto e de aplicação em relação ao estado da técnica, a discussão a seguir não leva em consideração forças contrárias a um deslocamento do transladador, tais como forças de fricção ou resistência do ar.

[0064] Com referência às Figuras 1 a 16, é discutida a interação de dois dipolos magnéticos dispostos ao longo de um percurso de deslocamento do transladador linear (3). O primeiro dipolo (1) é um ímã permanente, o segundo dipolo (2) é um eletroímã. A discussão com referência às Figuras 1 a 17 é baseada em se assumir que não há deslocamento relativo entre os dipolos, de tal forma que a designação dos dipolos como estator ou transladador é irrelevante.

[0065] Por razões de simplificação, de acordo com o estado da técnica, assume-se que um ímã permanente apresenta um formato cilíndrico e um campo magnético se estendendo pelo menos ao longo do eixo de deslocamento do transladador. Além disto, é assumida uma magnetização uniforme $\vec{M}_1 = M_1 \vec{e}_x$ do campo magnético em amperes por metro [A/m]. O campo magnético fora do ímã permanente é reduzido com o aumento da distância (x) do ímã. Isto pode ser expresso pela seguinte fórmula:

$$f(0) = 1$$

$$\vec{H}_1(x) = M_1 \times (f(x) \vec{e}_x) [\text{A/m}] \text{ com}$$

$$\lim_{\infty} f(x) = 0$$

[0066] O eletroímã compreende um núcleo ferromagnético cilíndrico, em trono do qual se estende uma bobina em um formato também cilíndrico. Por razões de simplificação, uma magnetização uniforme do núcleo ferromagnético é assumida quando é utilizado um campo magnético externo $H_{coil}(J)$ [A/m], de tal forma que a seguinte relação é satisfeita: $\vec{M}_{core}(\mathbf{H}) = \chi_v \times \vec{H}$, com χ_v sendo a susceptibilidade magnética do núcleo ferromagnético. Quando uma corrente com uma densidade de corrente J passa através das espirais do eletroímã, um campo magnético

$H_{coil}(J)$ é gerado na bobina interior como de $J[A/mm^2]$ como a densidade de corrente no interior da espiral da bobina.

[0067] Correspondentemente, para o campo magnético do núcleo ferromagnético do eletroímã resultante da densidade de corrente J o seguinte se aplica:

$$\overrightarrow{M}_{EM}^{coil}(J) = x_V H_{coil}(J) \overrightarrow{e}_x [A/m].$$

[0068] Consequentemente, outro campo magnético do núcleo ferromagnético resulta do campo magnético do ímã permanente a uma distância x a partir do núcleo ferromagnético:

$$\overrightarrow{M}_{EM}^{(1)}(x) = x_V x M(x) \overrightarrow{e}_x = x_V x M_1 x f(x)$$

$\overrightarrow{e}_x [A/m]$. De acordo com os ensinamentos relevantes, o máximo do campo magnético adicional com $x = 0$ é: $\overrightarrow{M}_{EM}^{(1)}(0) = x_V H_1(0) \overrightarrow{e}_x = x_V x M_1 x \overrightarrow{e}_x$.

[0069] Consequentemente, a potência do campo magnético do núcleo ferromagnético é determinada pela soma do campo magnético gerado pelo ímã permanente a uma distância e o campo magnético gerado pela bobina à qual é aplicada a densidade de corrente:

$$\overrightarrow{M}_{EM}(x, J) = \overrightarrow{M}_{EM}^{(1)}(x) + \overrightarrow{M}_{EM}^{coil}(J) = x_V \{ H_{coil}(J) = H_1(x) \} \overrightarrow{e}_x = x_V H_{coil}(J) + M_1 x f(x) \overrightarrow{e}_x.$$

[0070] No que diz respeito às forças de interação entre o ímã permanente e o eletroímã, os seguintes dois casos básicos (Caso 1, Caso 2) devem ser considerados. As magnetizações do ímã permanente e do eletroímã deduzidas nas Figuras 2 a 5 são derivadas dos casos básicos abaixo.

[0071] Caso 1: O ímã permanente e o núcleo são magnetizados na mesma direção, isto é, o seguinte se aplica:

$$\forall x, \forall J, M_{EM}(x, J) = M_{EM}(x, J) e_x, M_{EM}(x, J) > 0$$

[0072] $\forall x, M_1(x) = M_1(x) e_x, M_1(x) > 0$, onde as laterais do ímã permanente e do núcleo voltadas apresentam polaridades diferentes. A

força resultante é uma força de atração com $F_1(x) = F_1(x)e_x, F_1(x) < 0$

[0073] Caso 2: O ímã permanente e do núcleo são magnetizados em direções diferentes, isto é, o seguinte se aplica:

$$\forall x, \forall J, M_{EM}(x, J) = M_{EM}(x, J)e_x, M_{EM}(x, J) < 0$$

[0074] $\forall x, M_1(x) = M_1(x)e_x, M_1(x) < 0$, onde as laterais do ímã permanente e do núcleo voltadas entre si apresentam a mesma polaridade. A força resultante é uma força de repulsão com

$$F_1(x) = F_1(x)e_x, F_1(x) > 0.$$

[0075] Uma magnetização “positiva” do núcleo cria uma força de atração, o que implica em $H_{coil}(J) > -H_1(x)$. Com uma densidade de corrente J_1 satisfazendo $\forall x, H_{coil}(J) = -H_1(x)$, ocorre uma força de atração quando $J > J_1$.

[0076] Uma magnetização “negativa” do núcleo cria uma força de repulsão, que implica em $H_{coil}(J) < -H_1(x)$ e $J < J_1$.

[0077] No caso em que nenhuma corrente é suprida à bobina, ocorre uma interação de atração tendo em vista que $H_{coil}(0) = 0 > H_1(x)$ devido à magnetização “positiva” do núcleo.

[0078] Quando o campo magnético do eletroímã é mais forte do que o campo magnético do ímã permanente oposto a este, ocorre uma interação de repulsão. Isto pode ser alcançado por $H_{coil}(J) < H_1(x)$ e $J < J_1$.

[0079] A Figura 1 ilustra o caso de uma interação de atração entre o ímã permanente (primeiro dipolo 1) e o eletroímã (segundo dipolo 2). Nenhuma corrente é fornecida ao eletroímã. O núcleo é magnetizado pelo campo magnético a uma distância (x) e é desta forma atraído pelo ímã permanente.

[0080] A Figura 2 ilustra o caso de uma interação de atração entre o ímã permanente (primeiro dipolo 1) e o eletroímã (segundo dipolo 2), que é suprido com uma intensidade de corrente “positiva”. O fornecimento com uma densidade de corrente “positiva” significa que o campo magnético da

bobina e o campo magnético do ímã permanente são orientados na mesma direção.

[0081] Os campos magnéticos da bobina e o do núcleo levam a uma magnetização mais alta do núcleo, o que significa que a força de atração é geralmente mais alta e aumenta com o aumento da densidade de corrente.

[0082] A Figura 3 mostra a interação de atração entre o ímã permanente (primeiro dipolo 1) e o eletroímã (segundo dipolo 2) para o caso de suprimento de uma intensidade de corrente “negativa”, de tal forma que o campo magnético da bobina e o campo magnético são orientados em direções opostas. Quando $-H_1(x) < H_{coil}(J) < 0 \square J_1 < J < 0$ é satisfeita, a interação é uma interação de atração.

[0083] A Figura 4 mostra o caso de uma interação de repulsão entre o ímã permanente (1) e o eletroímã (2) no caso de suprimento com uma densidade de corrente “negativa”, de tal forma que $H_{coil}(J) < -H_1(x)$ ou $J < J_1$ é satisfeita. Uma interação de repulsão ocorre quando o valor absoluto da potência do campo magnético do eletroímã é mais alta que o valor absoluto da potência do campo magnético do ímã permanente, e orientada na direção oposta.

[0084] A Figura 5 mostra o caso de uma compensação do campo magnético pelo ímã permanente (1) por meio de um campo magnético gerado pela bobina. Este é gerado pelo uso de um dispositivo magnético da invenção. Este caso especial é caracterizado pelo fato de não haver magnetização do núcleo do eletroímã e, desta forma, sem forças de interação resultantes de interações. As polaridades opostas do eletroímã são canceladas entre si.

[0085] Este equilíbrio é caracterizado pelo fato de não haver força de interação $\vec{F}_1(\mathbf{x}, \mathbf{J}) = \vec{0}$, o que é obtido com $H_{coil}(J) = -M_1(x)$ ou $J = J_1$.

[0086] A Figura 6 mostra o resultado de uma simulação FEM. Na Figura 5, as potências do campo magnético ($\|B\| [mT]$) e as linhas do campo magnético são mostradas para o caso em que a bobina não é

suprida com qualquer corrente. Na Figura 6, o transladador é mostrado a uma distância de 60,0 mm, 30,0 mm, 10,0 mm e 0,0 mm (contato entre o ímã permanente e o eletroímã).

[0087] O ímã permanente (1) magnetiza o núcleo do eletroímã (2), o que leva a uma força de interação de atração, força de interação de atração esta que é inversamente proporcional à distância (x). Quanto maior a distância, menor é a força de interação de atração.

[0088] A Figura 7 é um diagrama mostrando os resultados da simulação FEM da Figura 6. A abscissa mostra a distância (x), enquanto que a ordenada mostra a força.

[0089] Em analogia com a Figura 6, a Figura 8 mostra os resultados de uma simulação FEM quando a bobina é suprida com uma densidade de corrente de $J_{coil} = 5 \text{ [A/mm}^2\text{]}$. O ímã permanente (1) e o eletroímã (2) são polarizados na mesma direção, de tal forma que uma força de interação de atração maior é gerada.

[0090] Em analogia com a Figura 7, a Figura 9 é um diagrama referindo-se à Figura 8 no desenvolvimento da força de interação em relação à distância entre o ímã permanente e o eletroímã quando $J_{coil} = 5 \text{ [A/mm}^2\text{]}$ é suprida. A Figura 8, desta forma, mostra o modo de ação do uso de uma realização do dispositivo magnético inventivo. A força de interação de atração é, desta forma, aumentada (linha contínua).

[0091] Em adição, a linha de distância de força no caso sem suprimento de corrente é mostrada pela linha tracejada.

[0092] Em analogia com as Figura 8 e Figura 9, a Figura 10 mostra o resultado de uma simulação FEM quando o eletroímã é suprido com $J_{coil} = -5 \text{ [A/mm}^2\text{]}$, e a Figura 11 mostra o diagrama correspondente. A Figura 11 mostra o curso da força de interação em relação à distância entre o ímã permanente e o eletroímã quando o eletroímã é suprido com $J_{coil} = -5 \text{ [A/mm}^2\text{]}$ com a linha contínua. A linha tracejada mostra o curso sem suprimento de corrente para o eletroímã. A Figura 10 e a Figura 11 também mostram o modo de ação de uma realização do dispositivo

magnético inventivo.

[0093] De acordo com a Figura 11, a força de interação de repulsão ocorre apenas dentro de uma distância de $x > 14,0$ mm. O campo magnético do eletroímã mostrado na Figura 10 é, desta forma, não suficientemente potente no que diz respeito à força de atração gerada pelo campo magnético do ímã permanente.

[0094] A Figura 12 mostra o efeito do suprimento do eletroímã com uma densidade de corrente de $J_{coil} \leq 0$ [A/mm²]. Novamente, a abscissa mostra a distância entre o ímã permanente e o eletroímã, e a ordenada mostra a força atuando entre o ímã permanente e o eletroímã. Um especialista na técnica observará a partir da Figura 12 que a geração de um estado do dispositivo magnético principalmente caracterizado por uma força de repulsão irá implicar no suprimento do eletroímã (2) com uma corrente.

[0095] Quando $H_{coil}(J) < -H_1(x)$ não é satisfeita, a força de interação é uma força de interação de atração. Neste caso o transladador é capturado no estator.

[0096] Além disto, se o eletroímã é constantemente suprido com uma corrente, há um ponto de equilíbrio x_{eq} relativo à distância entre o ímã permanente e o eletroímã. O ponto de equilíbrio é definido por $H_{coil}(J) < -H_1(x_{eq})$, por exemplo:

$$\begin{aligned} J_{coil} = -10 [A/mm^2] &\Rightarrow x_{eq} = 4 [mm] \\ J_{coil} = -5 [A/mm^2] &\Rightarrow x_{eq} = 13 [mm] \end{aligned}$$

[0097] A faixa na qual o efeito de captura ocorre é definida por $\forall x \in [0, x_{eq}]$, $F(x, J_{coil}) < 0$. Fora da faixa do efeito de captura, a força de interação é uma força de interação de repulsão $\forall x > x_{eq}$, $F(x, J_{coil}) > 0$. A uma densidade de corrente definida J_{coil} , a posição de equilíbrio é definida por $F(x_{eq}, J_{coil}) = 0$.

[0098] Suplementar à Figura 12, a Figura 13 mostra o caso de suprimento do eletroímã com uma densidade de corrente de $J_{coil} \geq$

0 [A/mm²] $J_{coil} \geq 0$ [A/mm²] dentro da bobina.

[0099] Adicionalmente, a Figura 14 compara o desenvolvimento da força que atua entre o ímã permanente e o eletroímã, quando o eletroímã é suprido com $J_{coil} + 10$ [A/mm²]; e $J_{coil} - 10$ [A/mm²]. Deve ser mencionado que a potência resultante da força não é a mesma com suprimentos de corrente variável.

[00100] Com base na discussão acima quanto a interação entre um ímã permanente e um eletroímã, abaixo é discutida a interação no caso especial de um transladador oscilando em relação a um. A oscilação do transladador é obtida comutando-se a polaridade do eletroímã em determinados intervalos de tempo com uma energia constante, tal como $|J_{coil} = 10$ [A/mm²]|. Por razões de simplificação, o lapso de tempo quando da comutação do eletroímã devido à resistência interna e condutividade da bobina não é levado em consideração na discussão do problema a seguir.

[00101] De maneira a garantir a oscilação eficiente do transladador, o transladador deve ser operado fora da área de captura. Isto leva à definição de uma distância mínima (ϵ) entre o ímã permanente e o eletroímã. Isto leva a $\forall x \geq \epsilon, F(x, J_{coil}) e_x$, com a operação do transladador sendo garantida fora da faixa de captura pela condição $\epsilon \geq x_{eq}$.

[00102] Para a operação fora da faixa de captura, deve-se assegurar que o perfil da força de campo - seja assimétrica a uma energia elétrica constante $J_{coil} = Cte$ [A/mm²]. O valor da força de interação de atração é maior que o valor da força de interação de repulsão. Consequentemente, a distância mínima (ϵ) reduz força de atração maximamente ativável.

$$\epsilon = x_{eq} \Rightarrow F_{max}(0,10) = 500[N]$$

$$\epsilon = x_{offset} \Rightarrow F_{max}(0,10) = 200[N],$$

[00103] onde as posições x_{eq} e x_{offset} são funções da densidade de corrente no interior da bobina J_{coil} e, desta forma dependem de um fator de tempo interno da bobina $\tau_{coil} = \frac{L_{coil}}{R_{coil}}$

[00104] A assimetria do perfil de força de campo pode ser explicada pela energia adicional requerida, que deve ser utilizada para acionar novamente o campo magnético. Na discussão acima quanto a interação entre um ímã permanente e um eletroímã, esta energia adicional foi provida pela bobina do eletroímã, a bobina sendo suprida com uma maior densidade de corrente. Para garantir a interação da energia de repulsão, a seguinte condição deve ser satisfeita: $H_{coil}(J) < H_1(x)$.

[00105] O ponto de equilíbrio correspondente ao ponto limite da faixa de captura é definido por: $H_{coil}(J) = -H_1(x_{eq})$.

[00106] No caso do transladador oscilar em relação a um estator, unidade de aceleração mecânica pode ser vantajosa, a qual apresenta um efeito similar no que diz respeito ao estado de força que atua sobre o transladador como suprindo a bobina com uma densidade de corrente adicional como discutido acima. Aqui, a unidade de aceleração serve para suprir o transladador com uma força de aceleração que atua contra a força de atração do ímã permanente que atua sobre o transladador, em particular no caso do eletroímã não ser operado.

[00107] Quando da utilização do dispositivo da invenção, a força como a soma da força de atração que atua sobre o transladador e a força de aceleração deve ser zero em qualquer posição. A força $\vec{F}_{TOT}(x, J)$ atuando no transladador em uma posição (x) com a bobina sendo suprida com uma densidade de corrente J sendo expressa pela seguinte equação:

[00108] $\forall x \geq 0, F_{TOT}(x, J) = F(x, J) + F_{corr}(x)$, onde $F_{corr}(x)$ é a força de aceleração causada pela unidade de aceleração e compreendendo a força de correção $F_{corr}(x)$, e $F_{corr}(x, J)$ é a força de interação ativa entre o estator e o transladador. O efeito mecânico requerido resulta da condição de equilíbrio para o transladador $\forall x \geq 0, F_{TOT}(x, 0) = 0 \Rightarrow F_{corr} = -F(x, 0)$,

que leva à seguinte caracterização da unidade de aceleração: $\forall x \geq 0, F_{corr}(x) = -F(x, 0)$, de tal forma que a força de aceleração ou a força de correção não atuam contra a força de atração do estator, que atua no transladador durante qualquer operação do eletroímã, de tal forma que a soma total das forças ativas de um estado de força é zero. Isto resulta em:

$$\forall x \geq 0, F_{TOT}(x, 0) = 0$$

$$\forall x \geq 0, \forall J, F_{TOT}(x, J) = \{F(x, J) - F(x, 0)\}e_x.$$

[00109] A Figura 15 mostra o curso da força de correção dependente de uma distância entre o transladador e o estator mostrado no eixo x.

[00110] A Figura 16 mostra o curso das forças atuando sobre o transladador dependente da distância entre o transladador e o estator em três casos diferentes de suprimento da bobina do eletroímã com uma densidade de corrente, a saber, $F_{coil} = +10 [A/mm^2]$, $F_{coil} = -10 [A/mm^2]$ e $J_{coil} = 0 [A/mm^2]$. A soma total das forças atuando sobre o transladador é definida por $\forall x \geq 0, \forall J, F_{TOT}(x, J) = \{F(x, J) - F(x, 0)\}e_x$, onde o equilíbrio é alcançado em $\forall x \geq 0, F_{TOT}(x, 0) = 0$. Além disto, há uma força de interação de repulsão quando $H_{coil} < 0 \square J_{coil} < 0$ é satisfeita. No caso contrário, há uma força de interação de atração, quando $H_{coil} > 0 \square J_{coil} > 0$ é satisfeita. O curso das forças é essencialmente simétrico com o eixo x do gráfico. Os valores da força de interação de repulsão e da força de interação de atração são essencialmente iguais, tendo em vista que são definidos pela densidade de corrente no interior da bobina do eletroímã.

[00111] Abaixo, as discussões acima são aplicadas a um dispositivo magnético compreendendo $n + 1$ transladadores ($n=1, 2, 3\dots$) e $n+1$ estatores. A Figura 17 mostra a disposição básica de um estator e dois transladadores ao longo de um eixo correspondendo ao eixo de deslocamento do transladador.

[00112] Abaixo, é descrito um dispositivo magnético com um estator e

dois transladores. O estator (1) é provido como um eletroímã compreendendo um núcleo e uma bobina, os transladores (2, 2') são providos como ímãs permanentes.

[00113] De acordo com a Figura 17, a distância entre a superfície do primeiro translador (2) voltado para o estator (1) e a superfície do (1) voltada para o primeiro translador (2) é determinada para ser (x) , enquanto (x') indica a distância entre a superfície do segundo translador (2') voltada para o estator (1) e a superfície do estator (1) voltada para o segundo translador (2'). δ indica a distância entre o núcleo do primeiro translador (2) e o núcleo do segundo translador (2'), onde d refere-se ao comprimento do percurso de deslocamento do translador (3), de tal forma que a seguinte equação é satisfeita:

$$\forall x \in [0, d], \forall x' \in [0, d], \delta = Cte$$

$$x \in [0, d]$$

$$x' = d - x \Rightarrow x' \in [0, d] \quad x \in [0, d]$$

[00114] O núcleo do eletroímã como porção do estator (1) é magnetizado por três campos magnéticos, a saber, o campo magnético criado pelo primeiro translador (2), que é posicionado a uma distância do estator.

$$M_{EM}^{(1)}(x) = \chi_v H_{EM}^{(1)}(x), \text{ wherein } H_{EM}^{(1)}(x) = M_1 \times f(x) e_x.$$

[00115] O segundo campo magnético do segundo translador (2') a uma distância (x') do estator (1) pode ser descrita por $H_{EM}^{(2)}(x') = -M_2 \times f(x') e_x$, onde quando é utilizado $x' = d - x$, a seguinte equação é satisfeita:

$$H_{EM}^{(2)}(x') = -\chi_v H_{EM}^{(2)}(d - x) = -\chi_v M_2 f(d - x) e_x.$$

[00116] O terceiro campo magnético é o campo magnético criado pela bobina do eletroímã $M_{EM}^{(coil)}(J) = \chi_v H_{coil}(J) e_x$, onde a direção da corrente define a direção do campo magnético $J > 0 \Rightarrow I > 0 \Rightarrow H_{coil}(J) > 0$.

[00117] A magnetização do núcleo do eletroímã pode ser resumida como $M_{EM}(x, J) = \chi_v \{M_1 f(x) - M_2 f(d - x) + H_{coil}(J)\} e_x$, onde $f(x)$ é uma

função inversamente proporcional $f(0) = 1$ em relação a x , com $\lim_{\infty} f(x) = 0$. $f(0) = 1$, $\lim_{\infty} f(x) = 0$.

[00118] Abaixo, $F_1(x, J)$ é a força de interação entre o estator (1) e o primeiro transladador (2), $F_2(x, J)$ é a força de interação entre o estator (1) e o segundo transladador (2'), de tal forma que a força atuando sobre o estator (1) o seguinte se aplica: $F_{EM}(x, J) = F_1(x, J) + F_2(x, J)$.

[00119] O termo $x \in [0, d]$ descreve o deslocamento dos transladadores (2, 2') ao longo do percurso de deslocamento axial do transladador (3), onde um deslocamento da esquerda para a direita é encarado como um deslocamento para uma direção "positiva" a partir da posição de partida $x = d$ ou $x' = 0$ para uma posição final $x = 0$, ou $x' = d$, respectivamente. Um deslocamento da direita para a esquerda é encarado como um deslocamento "negativo" a partir da posição de partida $x = 0$ ou $x' = d$ para uma posição final, $x = d$ ou $x' = 0$, respectivamente.

[00120] Quando $M_{EM}(x, J) = M_{EM}(x, J)e_x$, com $M_{EM}(x, J) > 0$, o seguinte se aplica:

[00121] O primeiro transladador (2) e o estator (1) são polarizados na mesma direção na Figura 17, de tal forma que a força de interação é uma força de atração e $F_1(x, J) > 0$ é satisfeita. Isto se aplica no caso de $H_{coil}(J) > -M_1 f(x)$, e como $\max(f(d-x)-1q)$, quando $\forall x \in [0, d]$, $H_{coil}(J) > M_1$.

[00122] O segundo transladador (2') e o estator (1) são polarizados em direções diferentes, de tal forma que a força de interação é uma força de repulsão. Isto é obtido quando $H_{coil}(J) > M_2 f(d-x)$ e $\max(f(d-x)) = 1$, quando $\forall x \in [0, d]$, $H_{coil}(J) > M_2$.

[00123] Um deslocamento da esquerda para a direita é realizado quando $\forall x \in [0, d]$, $H_{coil}(J) > M_2 > 0 > M_1$ resulta em uma magnetização "positiva" do estator.

[00124] O efeito de captura ocorre quando $M_2 > H_{coil}(J) > -M_1$. O estator (1) é capturado pelo campo magnético do segundo transladador

(2') ou *vice-versa*.

[00125] Quando $M_{EM}(x, J) = M_{EM}(x, J)e_x$ com $M_{EM}(x, J) < 0$, o primeiro translador (2) e o estator (1) são polarizados em direções opostas, de tal forma que a força de interação é uma força de repulsão e $F_1(x, J) < 0$ se aplica. Isto é obtido por $\forall x \in [0, d], H_{coil}(J) < -M_1$.

[00126] O segundo translador (2') e o estator (1) são polarizados na mesma direção, de tal forma que a força de interação é uma força de atração e $F_2(x, J) < 0$ se aplica. Isto é obtido quando $H_{coil}(J) < M_2 f(d - x)$ e $\max(f(d - x)) = 1$, desta forma, $\forall x \in [0, d], |H_{coil}(J)| < M_2$.

[00127] M_1 e M_2 são positivos, de tal forma que um deslocamento da direita para a esquerda dos transladores (2, 2') pode ser deduzido quando $\forall x \in [0, d], H_{coil}(J) < -M_1 < 0 < M_2$ descreve uma polarização negativa do estator 1.

[00128] O problema da captura ocorre quando $M_1 < H_{coil}(J) < M_2$, de tal forma que o estator (1) é capturado pelo campo magnético do primeiro translador (2).

[00129] Quando os campos magnéticos são igualmente potentes, $M_1 = M_2 = M_3$, uma polarização "positiva" e um deslocamento da esquerda para a direita é obtido quando $\forall x \in [0, d]$ e $H_{coil}(J) > M$. Inversamente, uma polarização "negativa" e um deslocamento da direita para a esquerda é obtido quando $\forall x \in [0, d]$ e $H_{coil}(J) < -M$. O efeito de captura ocorre quando $H_{coil}(J) \in [M, M]$; quando $H_{coil}(J) \in [-M, M]$, o efeito de captura pode ser evitado quando é garantido que $|H_{coil}(J)| > M$.

[00130] O sistema está em equilíbrio quando

$$M_{EM}(x, J) = 0 \Rightarrow \chi_V \{-M_1 f(x) + M_2 f(d - x) + H_{coil}(J)\} = 0$$

$$\Rightarrow H_{coil}(J) = M_1 f(x) - M_2 f(d - x)$$

[00131] Assumindo que os ímãs têm a mesma magnetização, $M_1 = M_2 = M$, o translador está em equilíbrio quando $H_{coil}(J) = M\{f(x) - f(d - x)\}$.

[00132] No caso de um eletroímã que não é suprido com uma corrente, o sistema apresenta um equilíbrio interno quando $H_{coil}(J) = 0 \rightarrow$

$M\{f(x) - f(d - x)$, que por um lado é alcançado a $x = d/2$. Este é o caso quando o primeiro translador e o segundo translador apresentam a mesma magnetização e estão à mesma distância do estator.

[00133] Quando da utilização de transladores com diferentes potências de campo, o ponto de equilíbrio é trocado do translador mais potente, de maneira a satisfazer $M_1 f(x_{eq}) = M_2 f(d - x_{eq})$.

[00134] A Figura 18 à Figura 24 é mostrado o resultado de uma simulação por meio de FEM. A simulação é baseada nas seguintes suposições:

[00135] O estator (1) é encarado como um eletroímã com um núcleo ferromagnético feito de metal macio e com um diâmetro de 30,0 mm e um comprimento de 30,0 mm (formato cilíndrico). É assumido que a bobina apresenta uma densidade de corrente J_{coil} [A/mm²] e um corpo feito de cobre com uma área de seção transversal de 30,0x30,0 mm².

[00136] É assumido que os transladores (2, 2') são ímãs permanentes apresentando um formato cilíndrico com um raio de 30,0 mm e um comprimento de 30,0 mm, onde os ímãs permanentes são magnetizados na direção do eixo do cilindro. Um valor de magnetização de $M_1 = M_2 = 10E5$ [A/m] é assumido, que corresponde ao ímã permanente N45° comercial. Os transladores (2, 2') podem se deslocar livremente ao longo do percurso de deslocamento linear do translador (3), que constitui também o eixo do sistema. As posições relativas dos transladores (2, 2') são descritas pela variável $x \in [0, d]$ [mm].

[00137] Na Figura 18 à Figura 24, a força de interação é mostrada para uma posição dos transladores $x \in [0,73]$ [mm] e para um suprimento do estator com $J_{coil} \in [-10,10]$ [A/mm²] dependente da posição dos transladores.

[00138] A Figura 18 mostra o caso de um eletroímã sendo suprido com $J_{coil} = 0$ [A/mm²] para uma faixa da posição do translador $x \in [0,73]$ [mm]. $x \in [0, d]$. De acordo com a discussão acima, o ponto de equilíbrio $F_{EM}(x_{eq}, 0) = 0$ fica na metade do deslocamento do translador

$$x_{eq} = \frac{d}{2}.$$

[00139] A Figura 20 mostra o desenvolvimento da força de interação quando o estator provido como um eletroímã é suprido com $J_{coil} \in [0,10][A/mm^2]$ em uma faixa do transladador $x \in [0,73][mm]$. O estator e o primeiro transladador são submetidos a uma força de atração; o estator e o segundo transladador são submetidos a uma força de interação de repulsão. A condição para uma interação de repulsão entre o estator e o segundo transladador $|H_{coil}(J)| > M_2$ não é satisfeita quando o estator está próximo ao segundo transladador.

[00140] A Figura 19 mostra o desenvolvimento da força de interação quando o estator é suprido com $J_{coil} \in [-10,0][A/mm^2]$ $J_{coil} \in [0+10][A/mm^2]$ dependendo da posição do estator dentro de uma faixa $x \in [0,73][mm]$. Isto leva a uma a uma magnetização negativa do estator; o estator e o segundo transladador são submetidos a uma força de interação de atração, enquanto entre o estator e o primeiro transladador, ocorre uma força de interação de repulsão.

[00141] A condição para uma força de interação de repulsão entre o estator e o primeiro transladador não é satisfeita quando o estator está próximo ao primeiro transladador.

[00142] A Figura 21 compara o caso de suprimento do estator (1) provido como um eletroímã com $J_{coil} = 10[A/mm^2]$, e o caso do suprimento deste com $J_{coil} \in [-10,0][A/mm^2]$ $J_{coil} = -10[A/mm^2]$, dependendo da posição do primeiro transladador (2), para uma faixa de $x \in [0,73][mm]$.

[00143] Na área (a seguir chamada de “área de captura”), na qual a condição $\forall x \in [0, d], H_{coil}(J) > M$ não é satisfeita e na qual o efeito de captura ocorre, a força de interação atua contra um deslocamento desejado dos transladadores (2, 2'). O ponto de final da área de captura é definido pelo ponto de equilíbrio x_{eq} .

[00144] A faixa de captura corresponde basicamente à posição do estator na qual o campo magnético do estator não equaliza o campo magnético do transladador mais próximo dos transladadores (2, 2').

[00145] Um especialista no assunto irá reconhecer que para a manutenção de uma oscilação eficiente dos transladores, o deslocamento dos transladores (2, 2') deve ocorrer fora da faixa de captura. Isto resulta em uma distância mínima $x \geq x_{eq}$ entre o primeiro translador e o estator.

[00146] Da Figura 23 e Figura 24 é mostrado o uso de uma unidade de aceleração.

[00147] Na discussão acima, a força de aceleração ativada pela unidade de aceleração, em particular a força de correção, foi definida pelo termo $F_{corr}(x)$ dependente da distância entre o primeiro translador (2) e o estator (1), de tal forma que a força atuando sobre o primeiro translador (1) é calculada pela equação $F_{TOT}(x, J) = F(x, J) + F_{corr}(x)$.

[00148] Como uma segunda característica da unidade de aceleração, foi selecionada a presença de um estado de equilíbrio, que deveria estar presente quando o eletroímã não é operado: $F_{TOT}(x, 0) = 0 \Rightarrow F_{corr}(x) = -F(x, 0)$.

[00149] A força de aceleração causada pela unidade de aceleração compreendendo basicamente \vec{F}_{corr} corresponde à força de captura, a qual de acordo com a invenção deve ser pelo menos parcialmente superposta pela força de aceleração. A força de aceleração, em particular o curso desta, pode ser deduzida por medições no caso do eletroímã não ser operado.

[00150] A Figura 23 compara o curso da força de aceleração garantindo $F_{corr}(x) = -F(x, 0)$. Em adição, a força de interação é mostrada como uma linha tracejada, no caso do estator provido na forma de um acionador elétrico não esteja ativo.

[00151] A Figura 23 mostra o curso de $F_{TOT}(x, J)$ quando da utilização de uma unidade de aceleração e quando o estator é suprido com uma densidade de corrente "positiva" ou "negativa" $J_{coil} = 0 \text{ [A/mm}^2\text{]}$ como uma função da posição da distância entre o translador e o estator. O gráfico mostra a área $x \in [0, 73] \text{ [mm]}$. Em adição, a linha pontilhada

mostra o curso de $F_{TOT}(x, J)$ quando o estator não é suprido com uma corrente.

[00152] O curso da força mostrado nas Figuras 21 e 22 é baseado na simplificação de que o primeiro translador e o segundo translador apresentam a mesma magnetização. Isto resulta em uma posição de equilíbrio a $x_{eq} = \frac{d}{2}$ para um eletroímã que não é suprido com qualquer corrente $F_{TOT}\left(\frac{d}{2}, 0\right) = 0$.

[00153] A força mostrada na Figura 23 utilizando uma unidade de aceleração apresenta as seguintes características:

[00154] O translador não suprido com qualquer corrente está sempre em equilíbrio:

[00155] $\forall x \in [0, d], F_{TOT}(x, 0) = 0 \forall$. A posição de equilíbrio mencionada acima $x_{eq} = \frac{d}{2}$ se torna o ponto de simetria do curso da força de interação corrigida $F_{TOT}(x, J)$. O perfil do curso da força de interação corrigida é de formato em U.

[00156] A Figura 24 mostra o curso da força de interação corrigida $F_{TOT}(x, J)$ a diferentes suprimentos de corrente para o eletroímã com $J_{coil} \in [-10, 10][A/mm^2]$ dependendo da posição relativa do translador para uma faixa $x \in [0, 73][mm]$.

[00157] Um deslocamento ótimo do translador da esquerda para a direita é caracterizado por $F_{TOT}(x, J) > 0$. Isto é obtido por $J > 0$. Inversamente, um deslocamento do translador da direita para a esquerda é obtido por $F_{TOT}(x, J) < 0$ a $J < 0$.

[00158] As Figuras 25 a 27 referem-se a uma realização particular da unidade de aceleração, a saber, na forma de uma mola. O modo de ação da mola é discutido de acordo com a característica da unidade de aceleração descrita acima.

[00159] Uma vez que $x_{eq} = \frac{d}{2}$ é o ponto de simetria do curso da força corrigida, a força de correção pode ser expressa como a soma total de duas forças de mola considerando-se as propriedades mecânicas de uma

mola: $\forall x \in [0, d], F_{corr}(x) = F_1(x) + F_2(x)$ com $\forall x \in [0, \frac{d}{2}], F_1(x) > 0, F_2(x) = 0$ e $\forall x \in [\frac{d}{2}, d], F_1(x) = 0, F_2(x) < 0$.

[00160] A Figura 25 mostra o curso de $\forall x \in [0, d], F_{corr}(x) = F_1(x) + F_2(x)$. Aqui, $\forall x \in [0, d], F_1(x) \geq 0$ sempre causa uma força “positiva”, e $\forall x \in [0, d], F_1(x) \leq 0$ sempre causa uma força “negativa”. A primeira força de mola F_1 é exclusivamente ativa na faixa $x \in [0, \frac{d}{2}]$, de tal forma que a primeira força de mola contraria a interação entre o estator e o primeiro transladador. Em analogia, a segunda força de mola F_2 é exclusivamente ativa na faixa $x \in [\frac{d}{2}, d]$ e contraria a interação entre o estator e o segundo transladador.

[00161] Quando o primeiro transladador e o segundo transladador apresentam a mesma magnetização, a primeira força de mola e a segunda força de mola podem ser especificadas como se segue. A primeira força de mola e a segunda força de mola apresentam os mesmos valores absolutos e atuam em direções diferentes.

$$\forall x \in [0, d], F_2(x) = -F_1(d-x)$$

[00162] A discussão acima resulta na disposição de uma primeira mola e uma segunda mola apresentando propriedades de mola iguais, mas atuando em direções diferentes.

[00163] A Figura 26 mostra uma realização possível do dispositivo magnético inventivo utilizando molas (7, 7') como unidades de aceleração (5, 5').

[00164] A primeira mola (7) se estende entre o estator (1) e o primeiro transladador (2) atuando sobre as respectivas superfícies. A primeira mola (7) neutraliza um efeito de captura entre o estator (1) e o primeiro transladador (2). A propensão da primeira mola (7) depende da aproximação do primeiro transladador (2) ao estator (1). O estator (1) funciona como ponto fixo (6) para a primeira mola 7. Ao mesmo tempo, a força da primeira mola F_1 é liberada dependendo da distância entre o

primeiro transladador (2) e o estator (1) como uma força “positiva”.

[00165] A segunda mola (7') atua em analogia à primeira mola (7). Em analogia à disposição da primeira mola (7), a segunda mola (7') é disposta entre o estator (1) e o segundo transladador (2'). O estator (1) atua como ponto fixo (6) para a segunda mola (7').

[00166] A força de correção gerada pela primeira mola (7) e pela segunda mola (7') satisfaz ao seguinte: $F_{corr}(x) = F_1(x) + F_2(x) = -F(x, 0)$.

[00167] De acordo com o estado da técnica, uma força de mola é proporcional à deformação linear da mola. No caso de uma compressão $\delta x [mm]$ da mola, o seguinte é satisfeito: $F = -k\delta x$, onde $k [N/m]$ é a constante da mola.

[00168] Quando o deslocamento do transladador é dividido em n ($n = 1, 2, 3, \dots$) sub-deslocamentos $[x_{n-1}, x_n]$ com $x_0 = 0$ e $x_N = d$, a força de mola pode ser representada por uma extrapolação linear.

[00169] $F(x) = \alpha_n \times x + \beta_n$ com $\alpha_n = \frac{F(x_n) - F(x_{n-1})}{x_n - x_{n-1}}$ e $\beta_n = F(x_{n-1})$.

[00170] Considerando que o compressão do comprimento é $\delta_n = x_n - x_{n-1}$ e a constante da mola $k_n = \frac{F(x_n) - F(x_{n-1})}{x_n - x_{n-1}} [N/m]$, as quais podem ambas ser deduzidas a partir das propriedades da mola, a Figura 27 é obtida, na qual a constante da mola é mostrada para cinco sub-deslocamentos $x_n \in \{0, 5, 10, 20, 30, 73\}$.

REIVINDICAÇÕES

1. Dispositivo magnético compreendendo pelo menos um estator excitado magneticamente (1) e um transladador excitado magneticamente (2), o referido transladador (2) sendo móvel em relação ao estator (1) ao longo de um percurso de deslocamento de transladador (3), no qual o estator (1) é um ímã permanente e o transladador (2) é um eletroímã, ou o estator (1) é um eletroímã e o transladador (2) é um ímã permanente,

no qual uma força magnética $\vec{F}(x, J)$, atua entre o estator (1) e o transladador (1), com $x \geq 0$ sendo a distância entre o estator e o transladador, e J sendo a densidade de corrente do eletroímã,

no qual uma unidade de aceleração (5) gera uma força agindo sobre o transladador (2) pelo menos em porções do percurso de deslocamento de transladador (3), a referida força criando um estado de força de aceleração compreendendo pelo menos uma força de correção $F_{corr}(x)$, o referido estado de força de aceleração é orientando em afastamento a partir do estator (1), **caracterizado pelo fato de que**

$F(x, J=0)$ define um efeito de captura magnética em reação oposta a um movimento desejado do transladador (2), no qual $F(x, J=0)$ pode ser determinado por medições quando o eletroímã não é suprido com uma corrente, e que

a) quando o transladador (2) se desloca em afastamento do estator (1), a soma total das forças que atuam sobre o transladador (2) é maior do que zero, $F(x, J=0) + F_{corr}(x) > 0$, onde $F_{corr}(x) > -F(x, J=0)$, ou

b) quando o transladador (2) se move em direção ao estator (1), a soma total das forças que agem no transladador (2) é menor do que zero, $F(x, J=0) + F_{corr}(x) > 0$, onde $F_{corr}(x) < -F(x, J=0)$, ou

c) quando o transladador e o estator estão em uma condição de equilíbrio, a soma total das forças que agem no transladador é zero, $F(x, J=0) + F_{\text{corr}}(x) > 0$, onde $F_{\text{corr}}(x) = -F(x, J=0)$, de tal forma que a força corretiva $|F_{\text{corr}}(x)| \geq |F(x, J=0)|$ em reação oposta ao efeito de captura em parte ou por completo.

2. Dispositivo magnético, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** a unidade de aceleração (5) gera uma força que atua no transladador (2) ao longo do percurso de deslocamento de transladador total (3).

3. Dispositivo magnético, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 e 2, **caracterizado pelo fato** da unidade de aceleração (5) ser, dependendo de uma distância entre o transladador (2) e o estator (1), influenciável quando o transladador (2) se aproxima do estator (1) e/ou a unidade de aceleração (5) provoca, dependendo da distância entre o transladador (2) e o estator (1), a condição de força de aceleração.

4. Dispositivo magnético, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, **caracterizado pelo fato** da unidade de aceleração (5) ser acoplada ao transladador (2) e a um ponto fixo (6) e se estender pelo menos parcialmente entre o transladador (2) e o ponto fixo (6).

5. Dispositivo magnético, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, **caracterizado pelo fato** do estator (1) ser o ponto fixo (6).

6. Dispositivo magnético, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, **caracterizado pelo fato** da unidade de aceleração (5) compreender um outro ímã ou uma unidade de acionamento similar, por exemplo, a um motor elétrico, e/ou um dispositivo pneumático, e/ou um dispositivo hidráulico.

7. Dispositivo magnético, de acordo com qualquer uma

das reivindicações 1 a 6, **caracterizado pelo fato** da unidade de aceleração (5) compreender uma mola, que a mola apresenta um componente de força de mola atuando em paralelo à direção de deslocamento de translador (4).

8. Dispositivo magnético, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, **caracterizado pelo fato** do percurso de deslocamento de translador (3) ser linear ou poligonal.

9. Dispositivo magnético, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, **caracterizado pelo fato** de uma linha do percurso de deslocamento de translador (3) correr através do estator (1).

10. Dispositivo magnético, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, **caracterizado pelo fato** de o dispositivo magnético compreender um dispositivo de controle para controlar a polarização do eletroímã e para controlar a intensidade do eletroímã dependendo da condição de força de aceleração.

DESENHOS

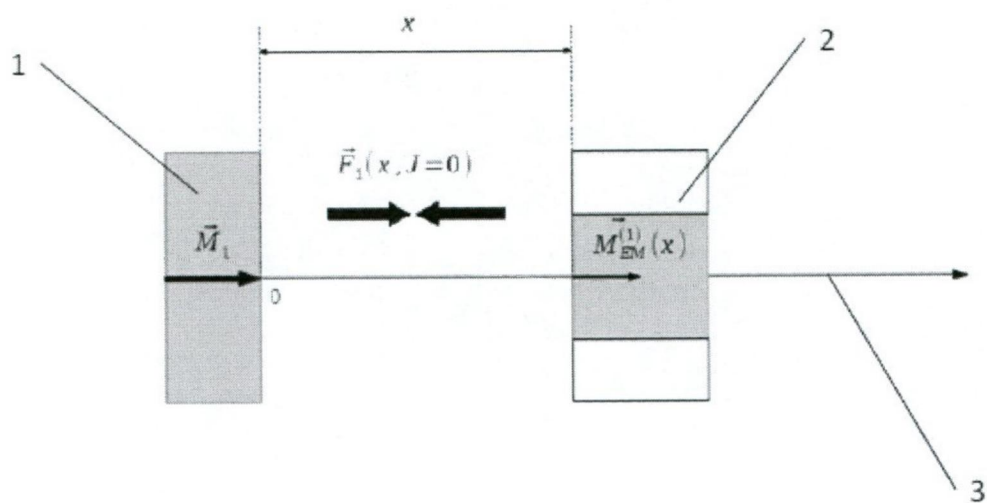


Figura 1

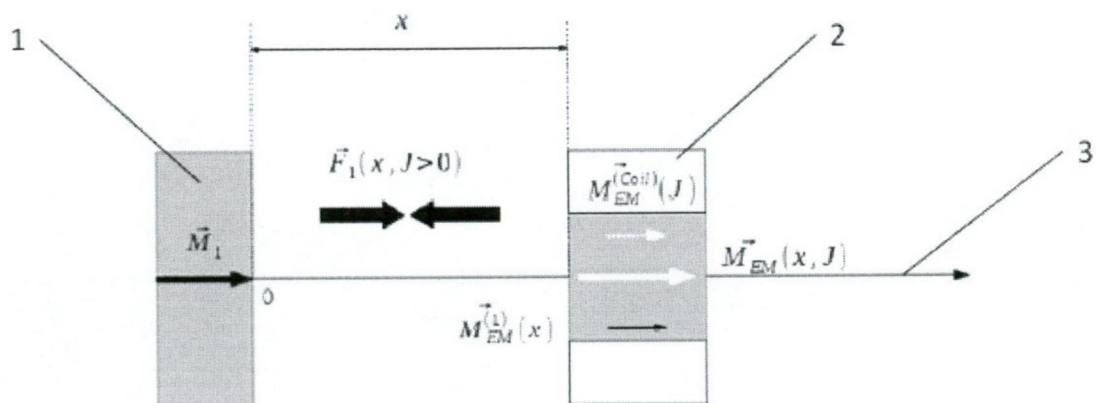


Figura 2

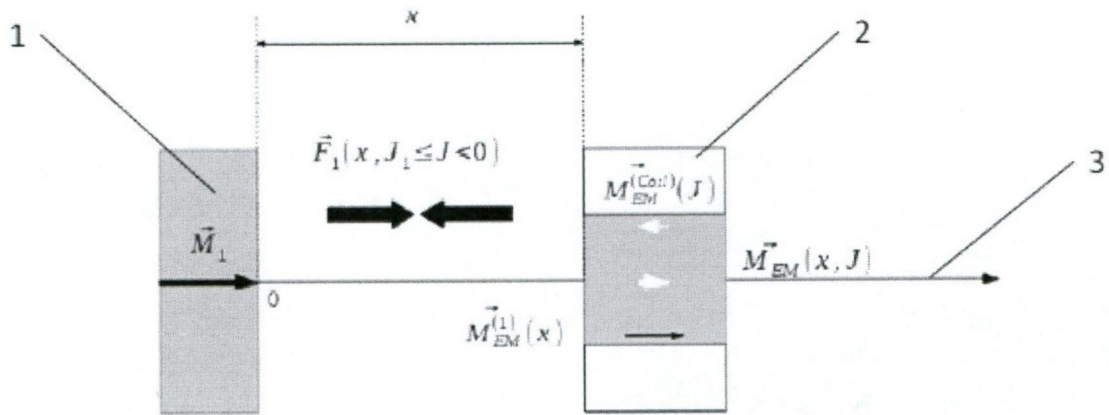


Figura 3

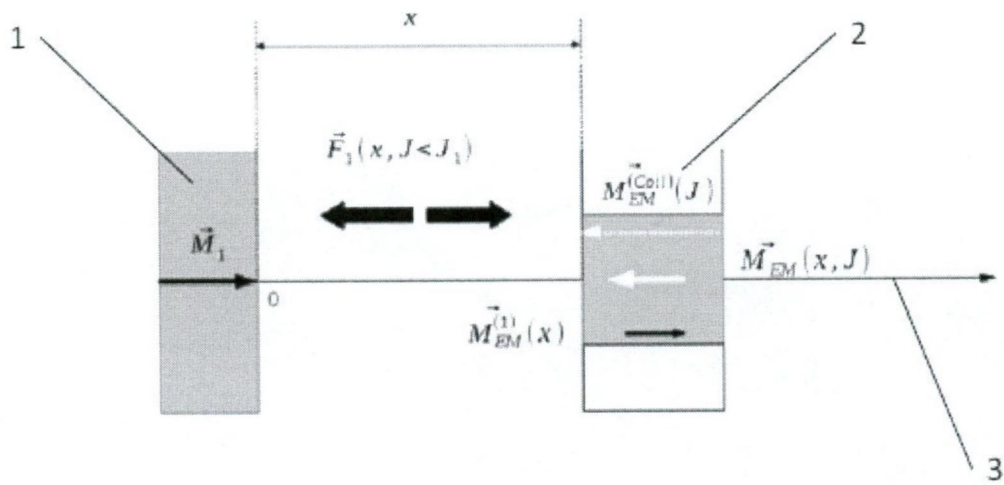


Figura 4

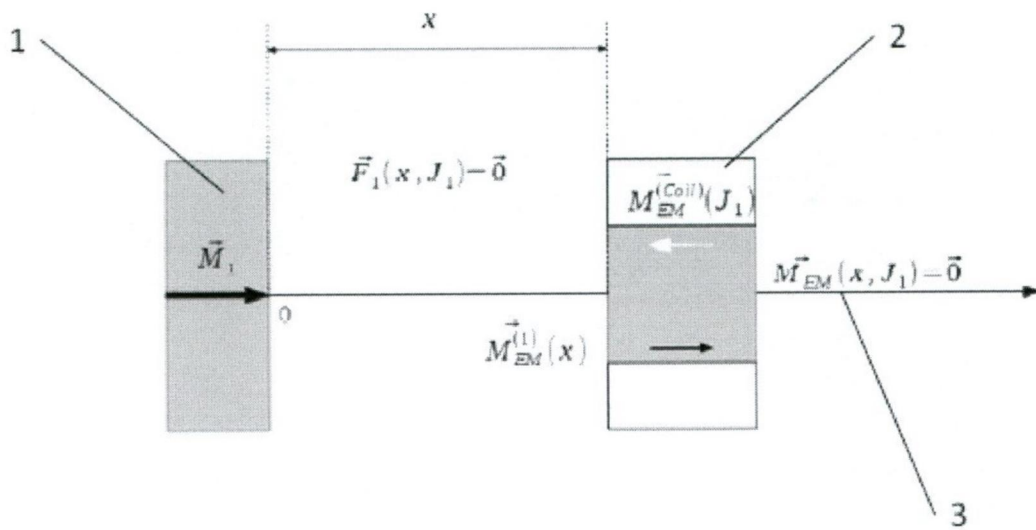


Figura 5

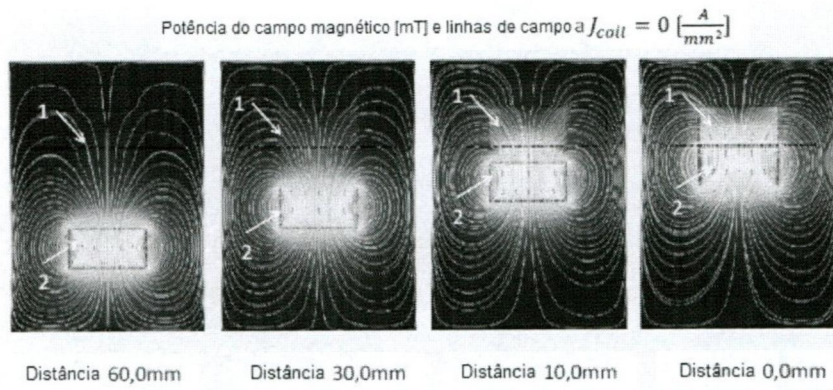


Figura 6

Força de Interação [N]

$$J_{coil} = 0 \left[\frac{A}{mm^2} \right]$$

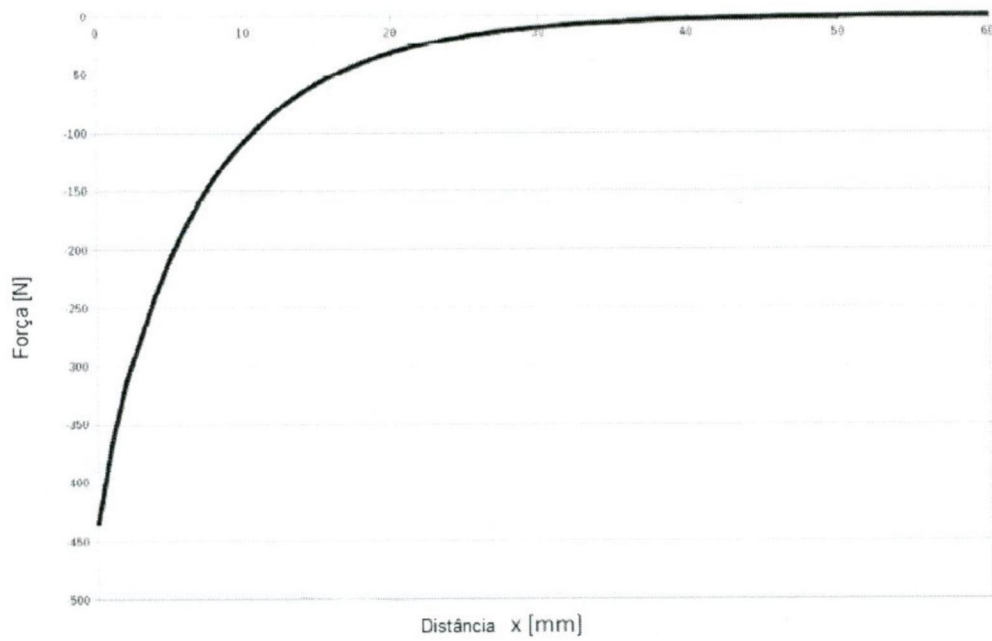


Figura 7

Potência de campo magnético [mT] e linhas de campo a $J_{coil} = 5 \left[\frac{A}{mm^2} \right]$

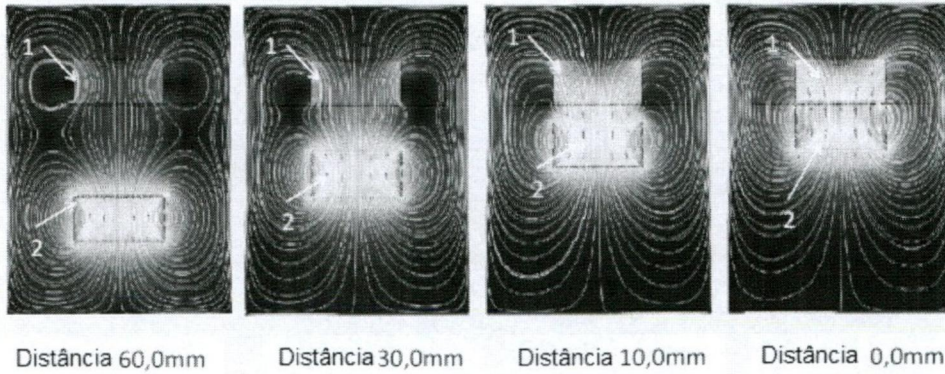


Figura 8

Força de Interação [N]

$$J_{coil} = 5 \left[\frac{A}{mm^2} \right]$$

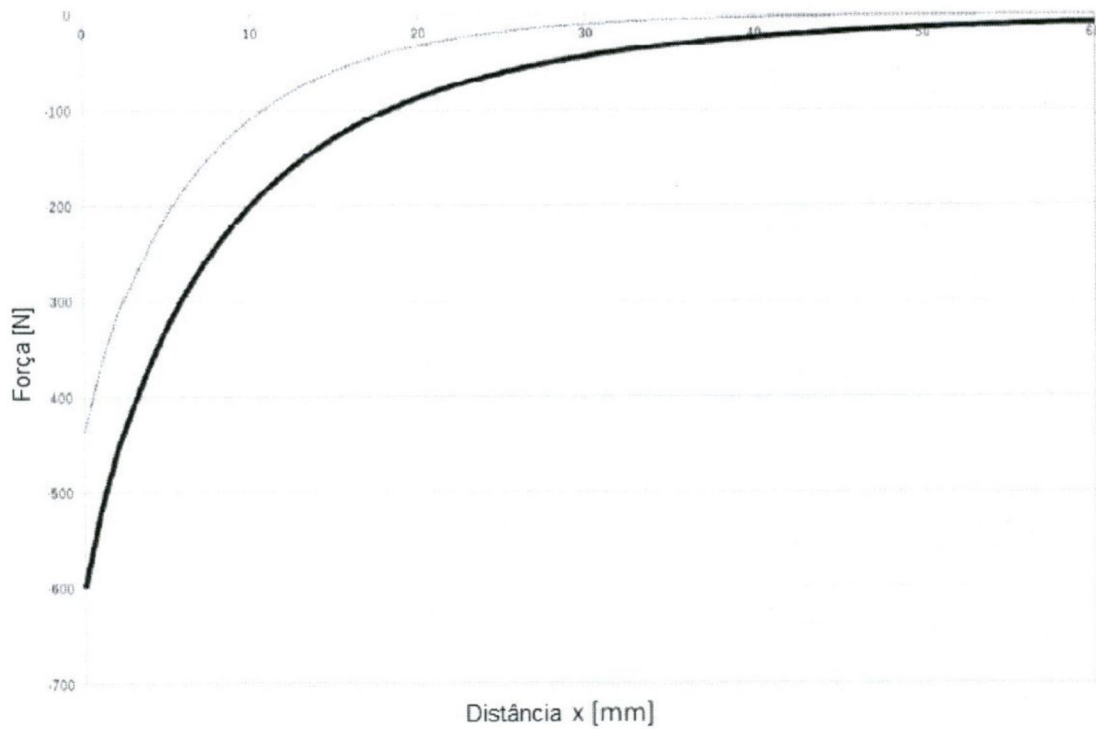


Figura 9

Potência de campo magnético [mT] e linhas de campo a $J_{coil} = -5 \left[\frac{A}{mm^2} \right]$

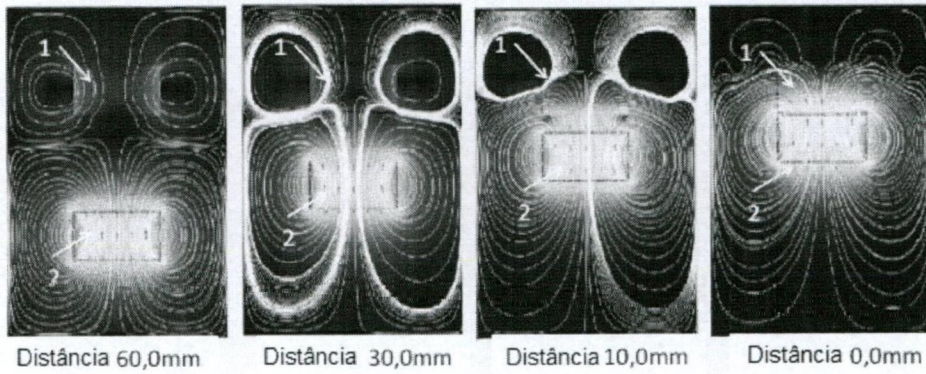


Figura 10

Força de Interação [N]

$$J_{coil} = -5 \left[\frac{A}{mm^2} \right]$$

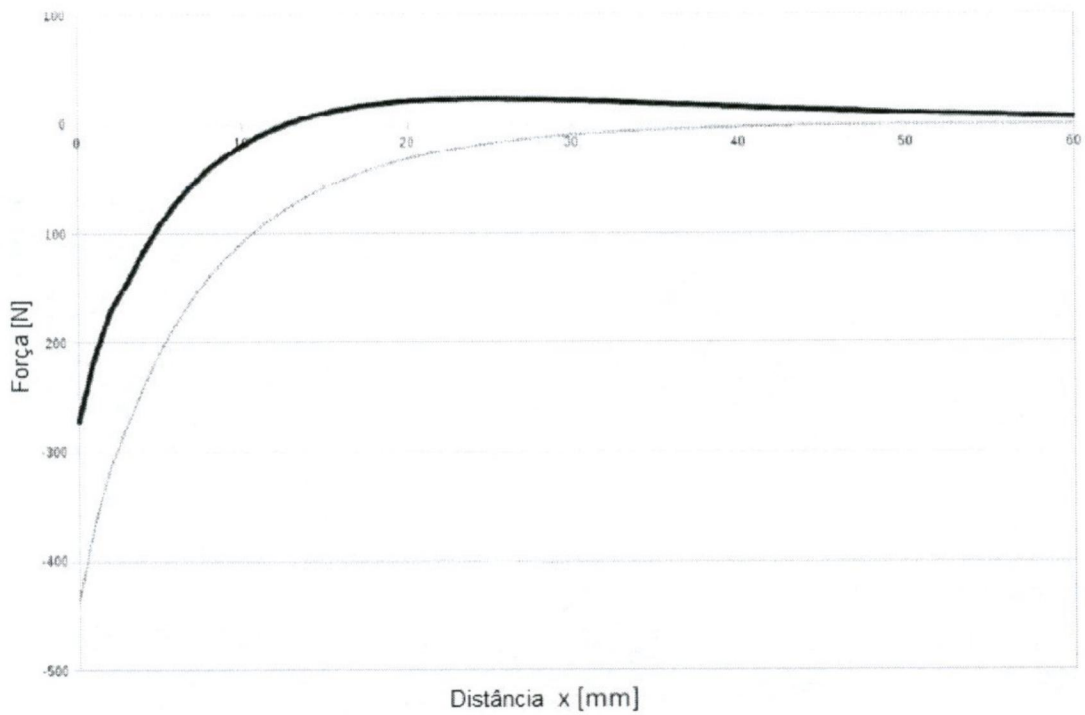


Figura 11

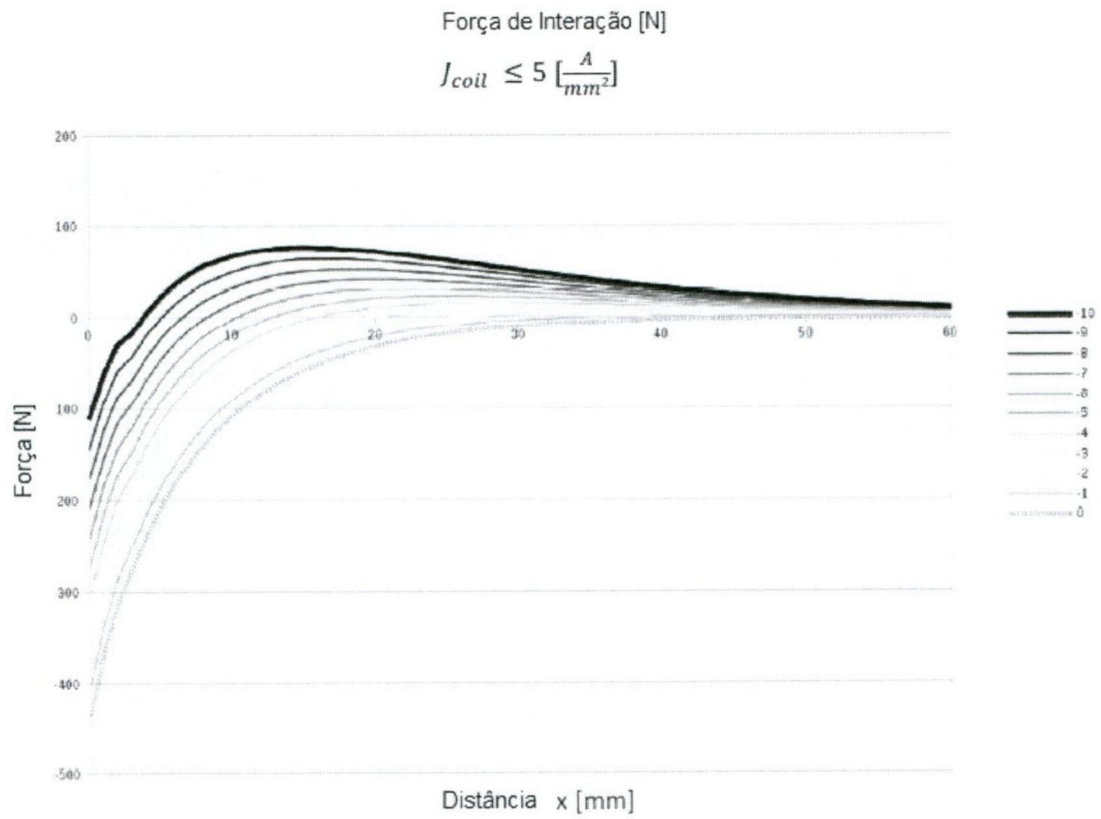


Figura 12

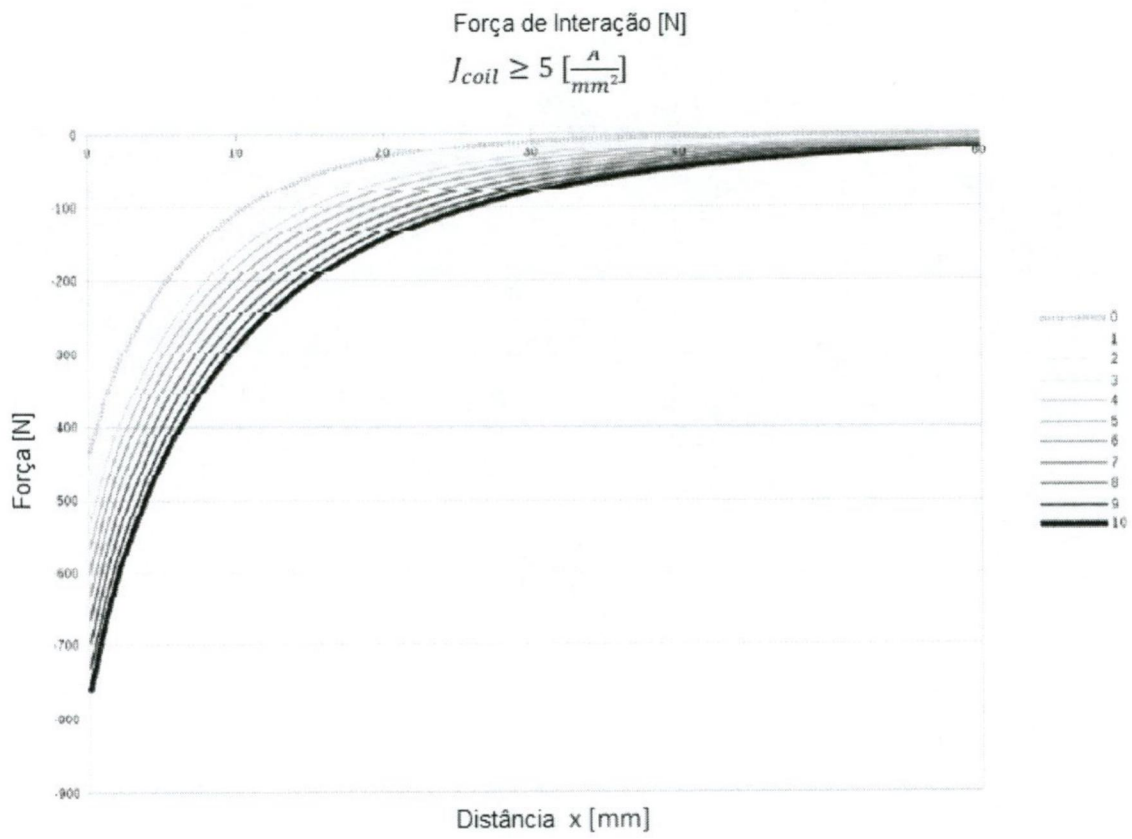


Figura 13

Força de Interação [N]

$$|J_{coil}| = 10 \left[\frac{A}{mm^2} \right]$$

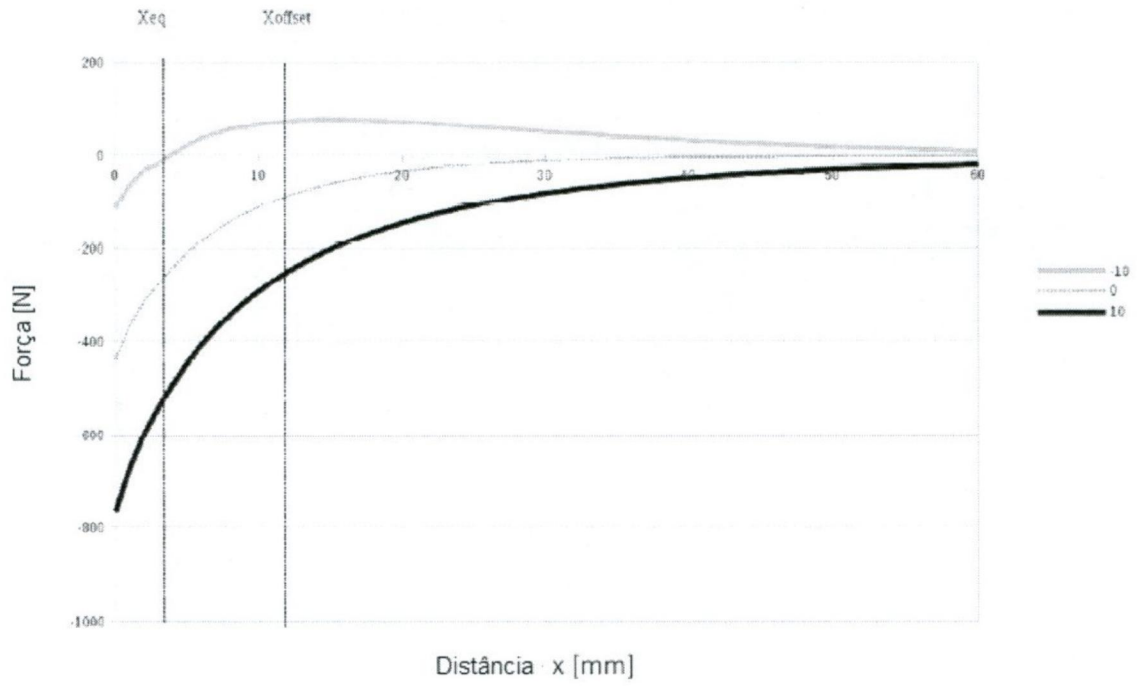


Figura 14

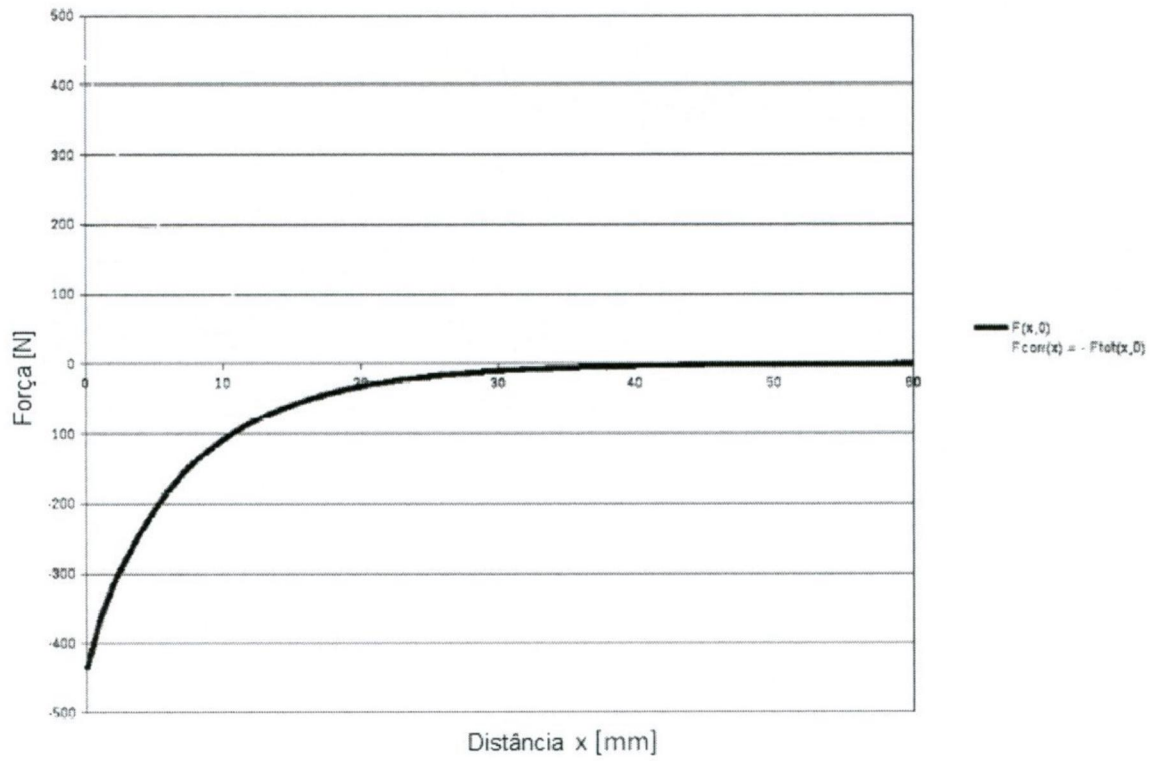
Força corretiva F_{corr} [N]

Figura 15

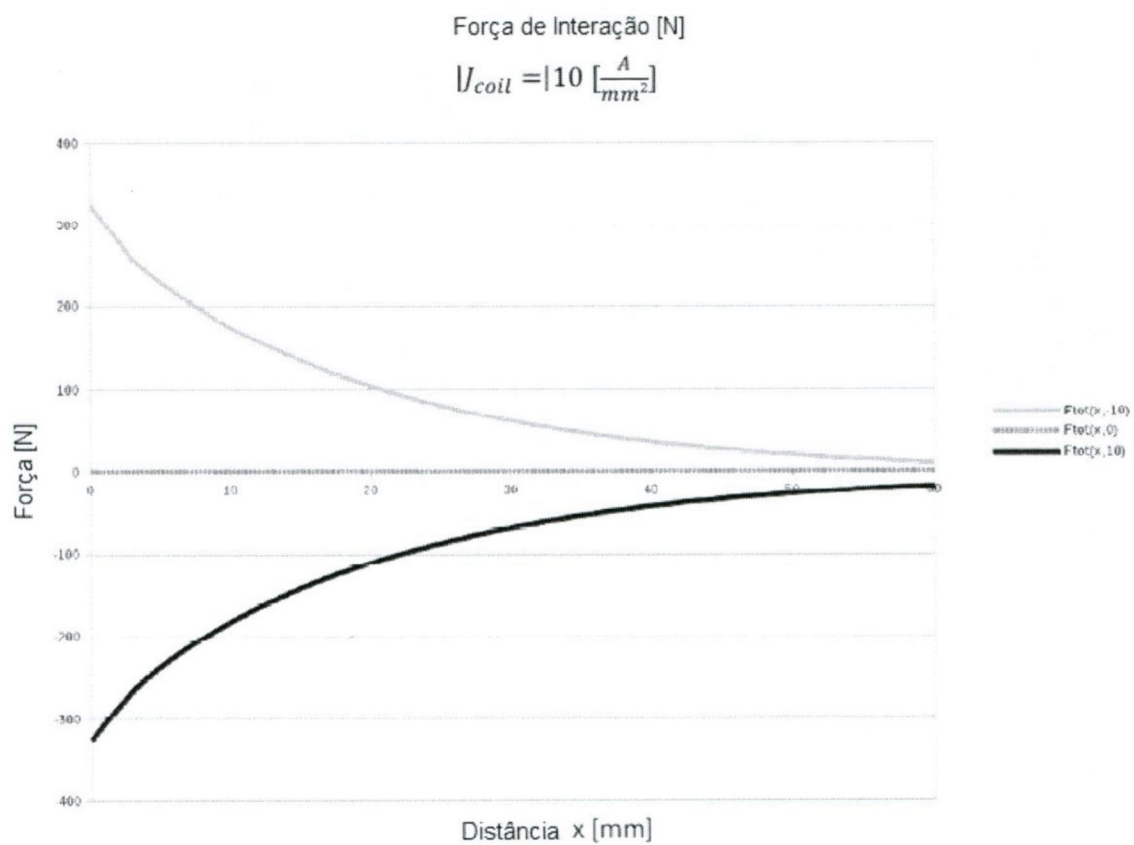


Figura 16

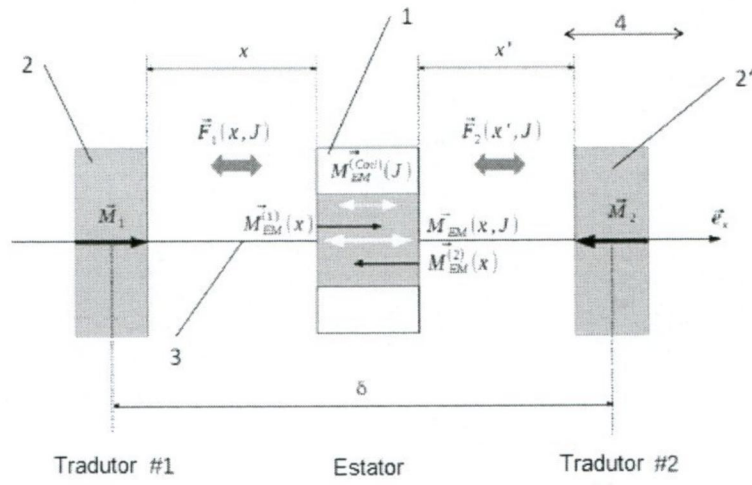


Figura 17

Força de Interação [N]

$$J_{coil} = 0 \left[\frac{A}{mm^2} \right]$$

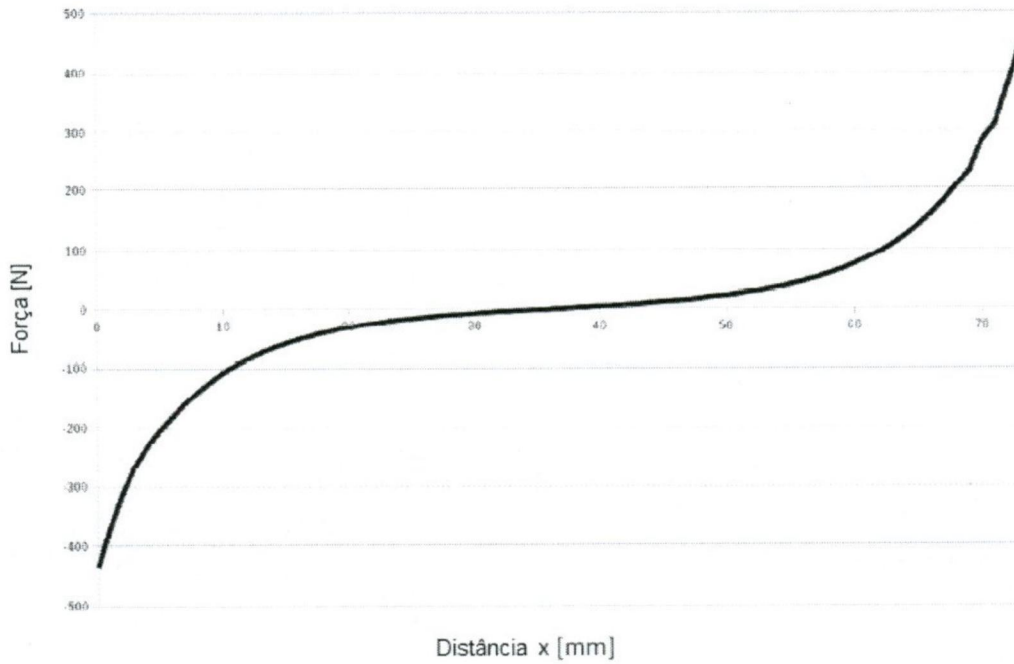


Figura 18

Força de Interação [N] 3 dipolo $J_{coil} > 0 \left[\frac{A}{mm^2} \right]$

Deslocamento do tradutor da esquerda para a direita

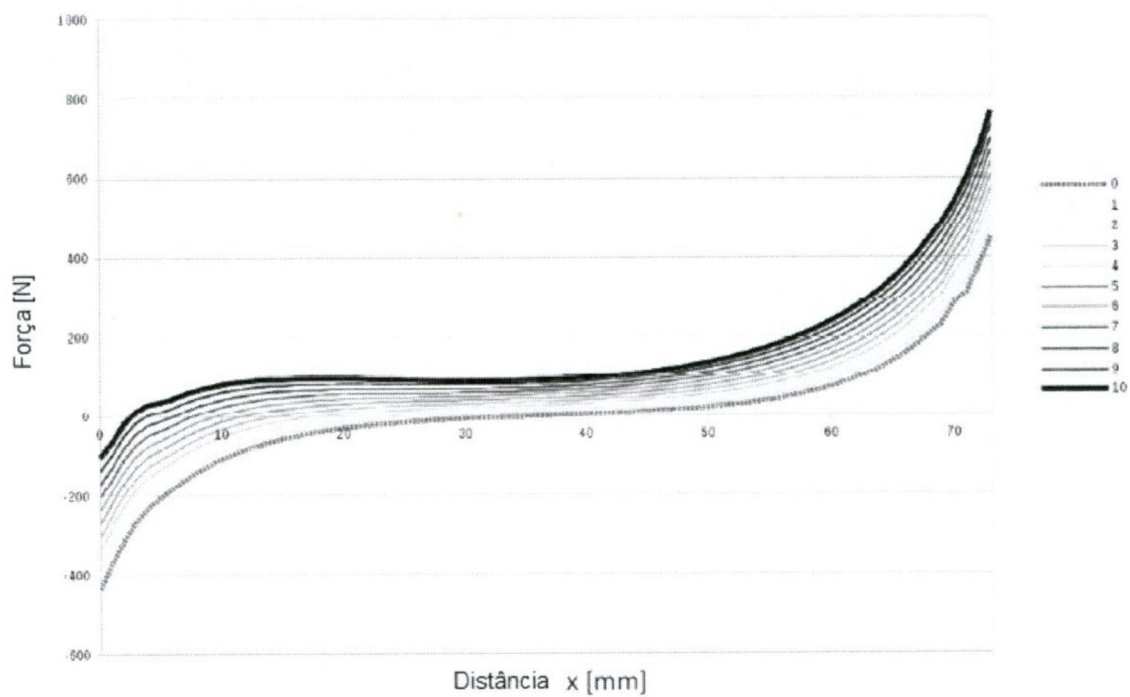


Figura 19

Força de interação [N] 3 dipolo $J_{coil} > 0$ [$\frac{A}{mm^2}$]
Deslocamento do tradutor da direita para a esquerda

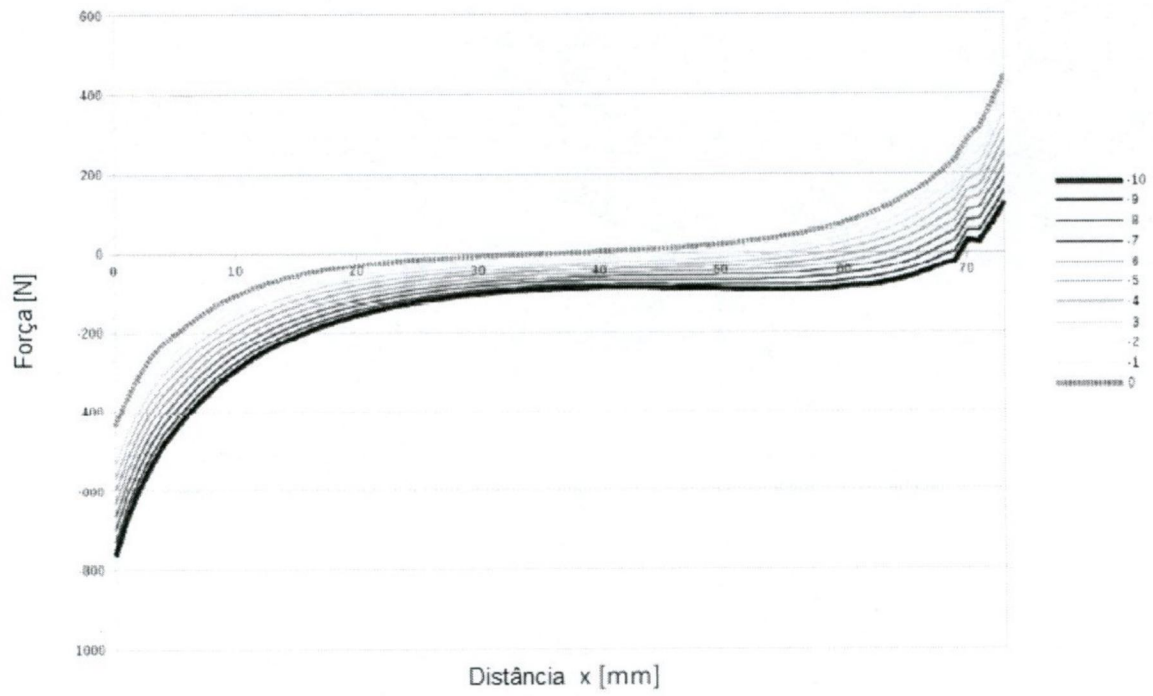


Figura 20

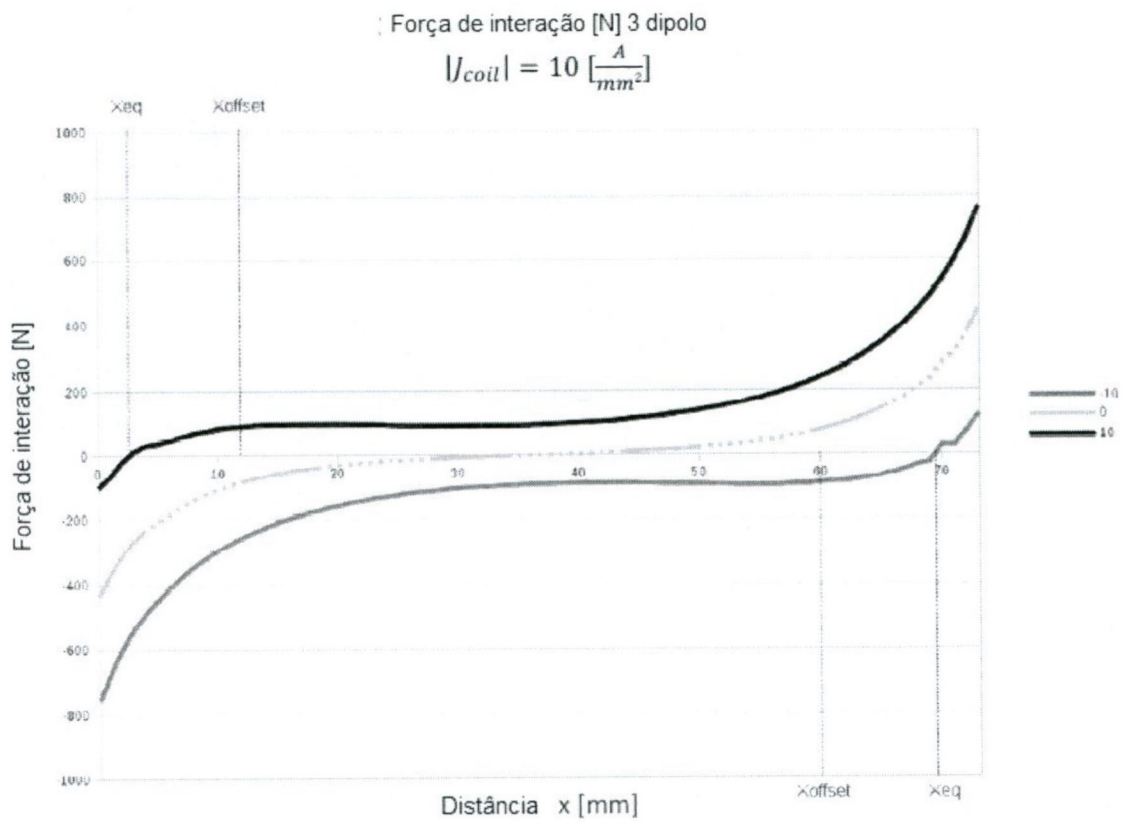


Figura 21

Força de interação [N] 3 dipolo

$$|J_{coil}| = 10 \left[\frac{A}{mm^2} \right]$$

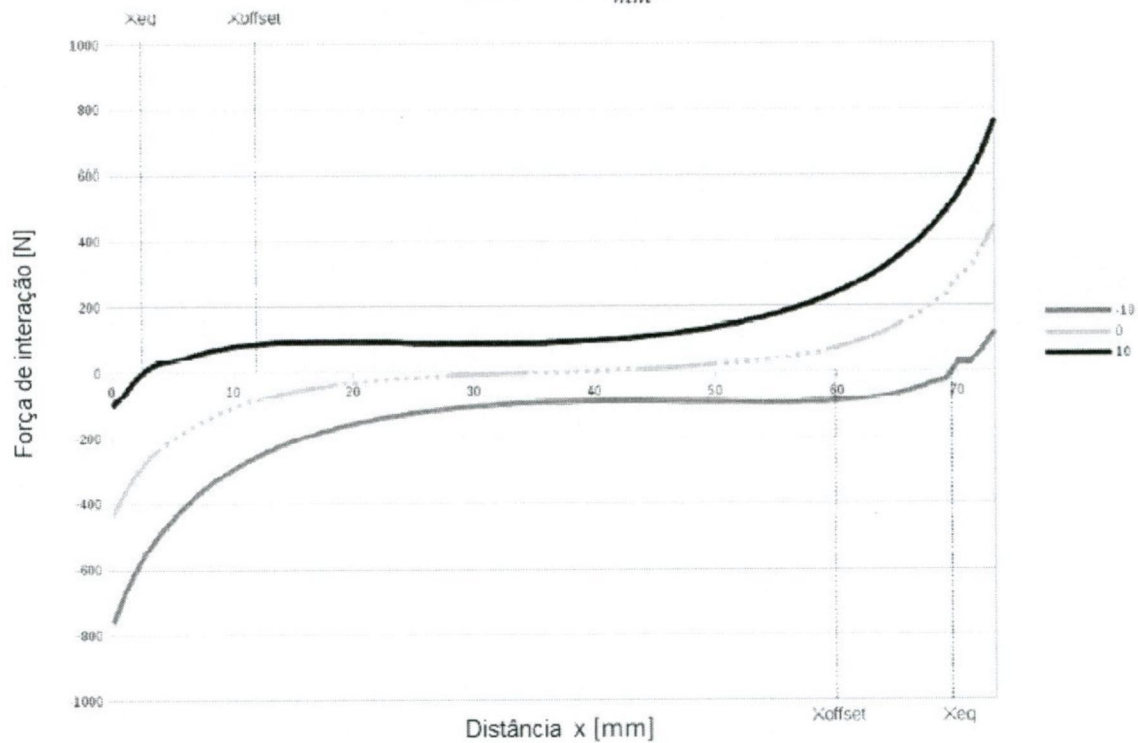


Figura 22

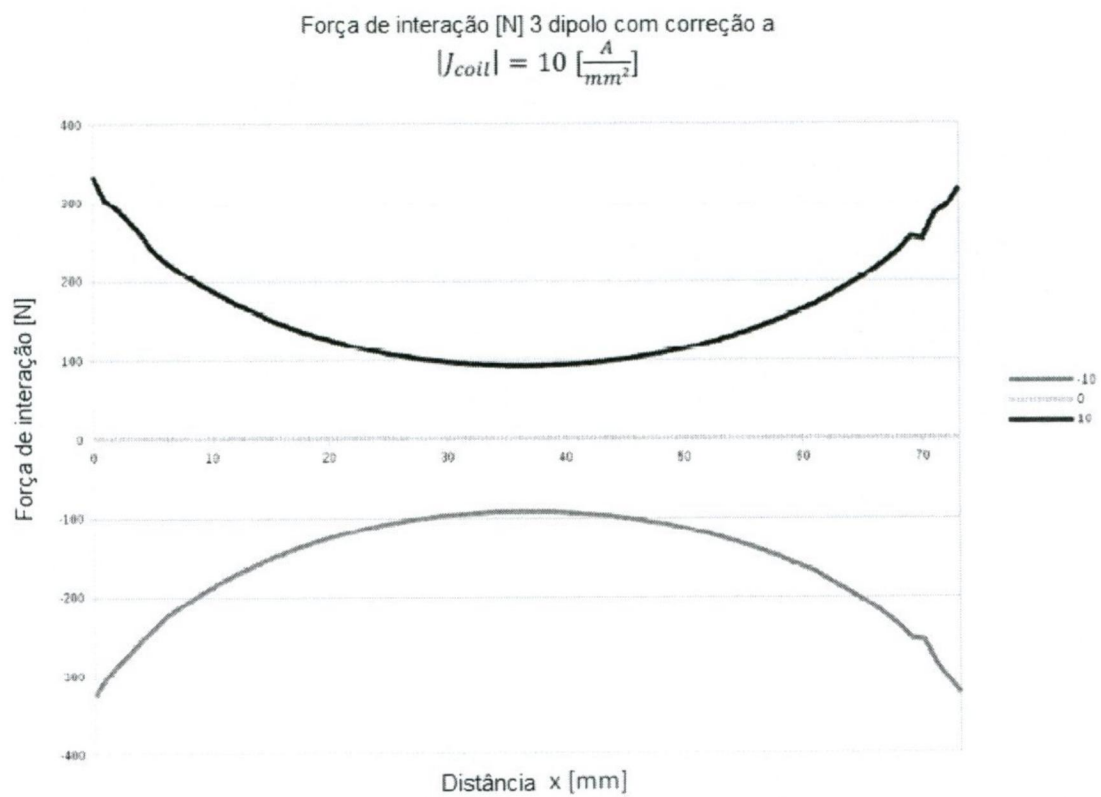


Figura 23

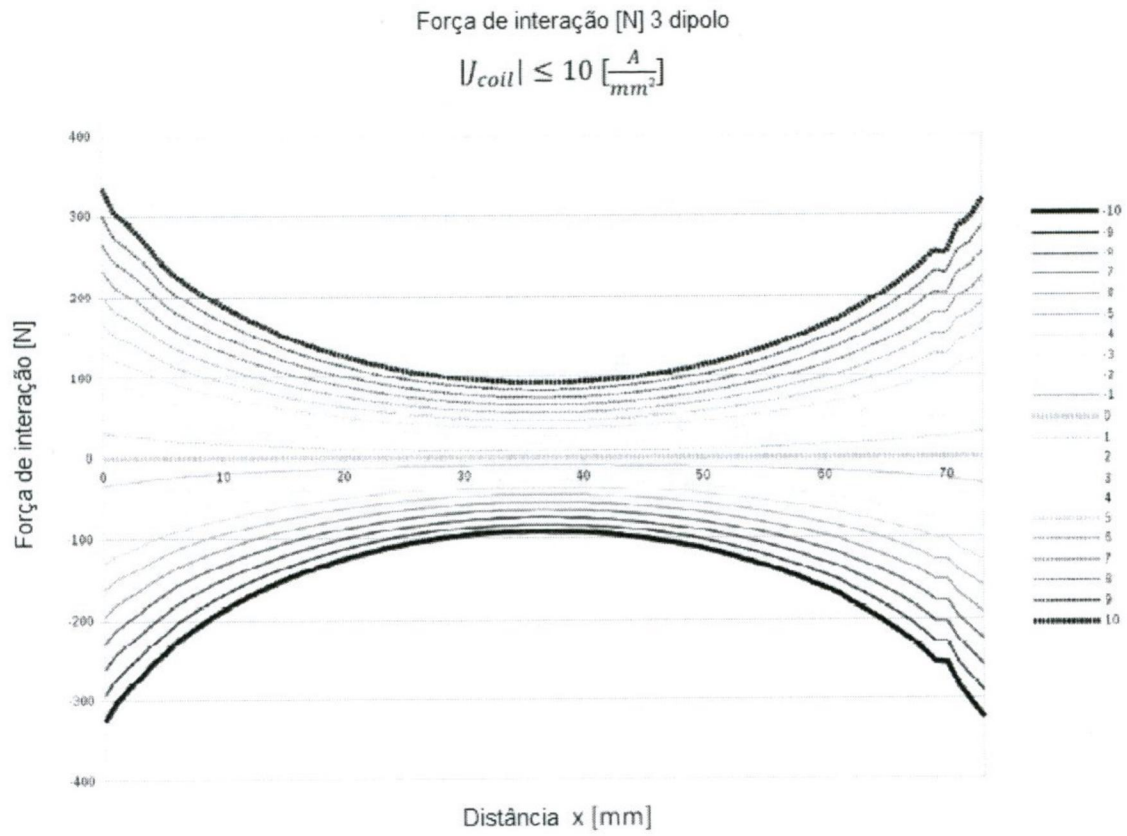


Figura 24

Perfil de força corrigido

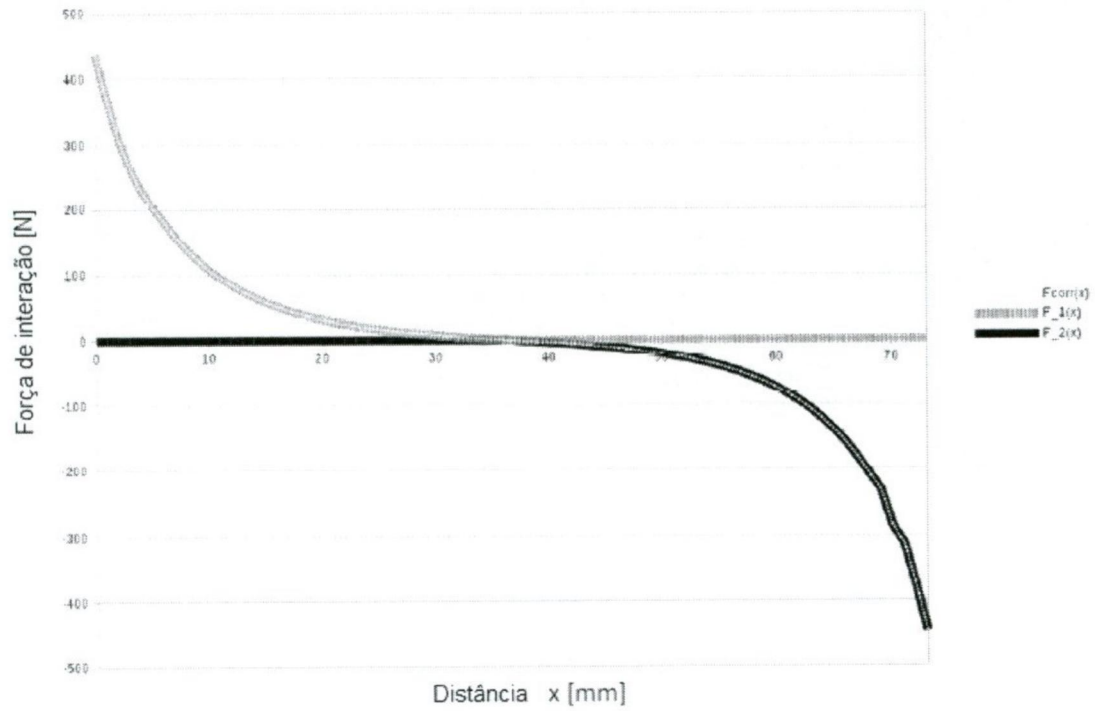


Figura 25

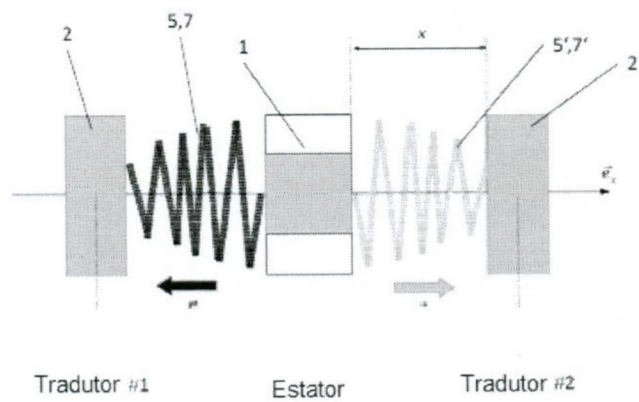


Figura 26

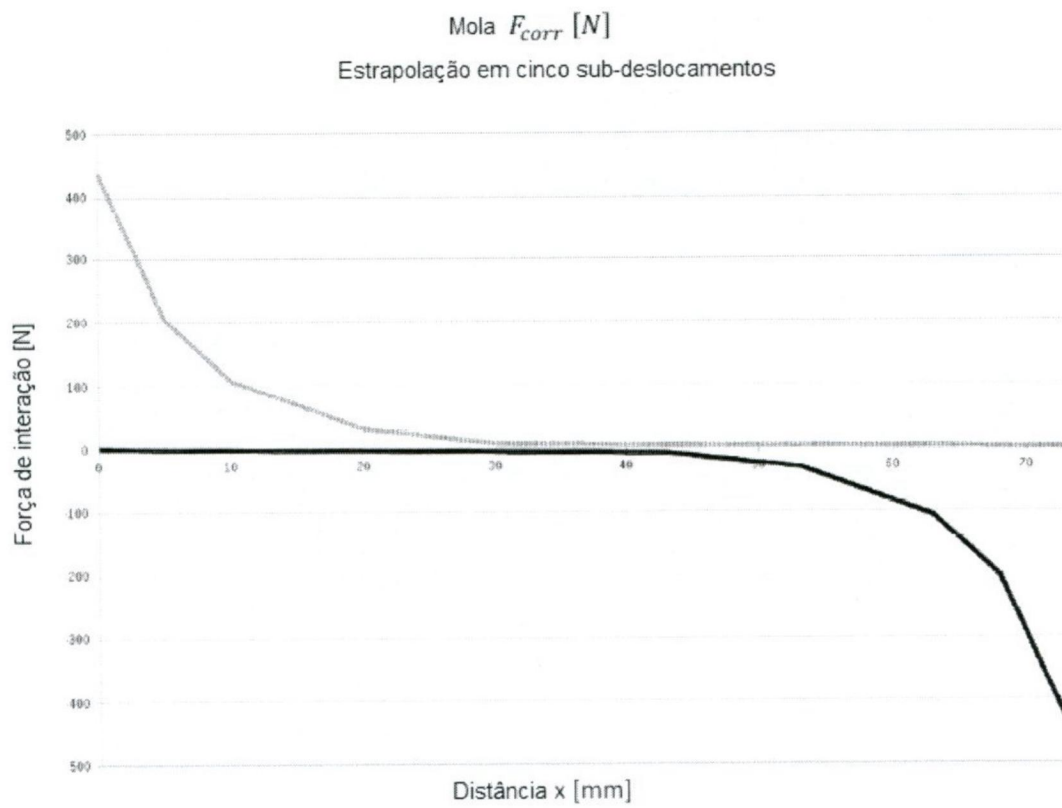


Figura 27