

Manufatura

Estudo compara estampagem e eletroerosão a fio na fabricação de micropeças

O crescente interesse tanto de pesquisadores como das indústrias por micropeças nos últimos anos é facilmente justificado pelas novas funções tecnológicas que são atribuídas a dispositivos eletrônicos, sensores, materiais biomédicos, automobilísticos etc. Existem diversos processos que permitem a fabricação de micropeças, dois dos quais são analisados neste trabalho: o corte em matriz e o corte por eletroerosão a fio. As peças produzidas foram o rotor e o estator que formam o núcleo magnético de um micromotor. Por meio de uma análise metalográfica de varredura, foram observados os efeitos causados por ambos os processos sobre as micropeças. O estudo apresenta, assim, as vantagens e as limitações de cada técnica.

U. Boff e L. Schaeffer

A produção de micropeças surge em meio à grande competição existente no setor industrial e ao advento de novas tecnologias que impulsionam a miniaturização de produtos. Diversos são os processos que podem ser usados na fabricação de micropeças; dentre os mais conhecidos estão a microusinagem e a moldagem de pós metálicos por injeção, também chamada de *Metal Injection*

Moulding (MIM). O processo de microestampagem, surgido recentemente, também permite a fabricação de micropeças, porém ainda precisa ser mais difundido no Brasil.

A concepção de produtos em escala micrométrica tem de levar em conta as limitações e os potenciais relacionados às novas tecnologias de produção. Por um lado, a miniaturização constitui uma limitação para a aplicação

da maioria das tecnologias de fabricação convencionais, como os processos de corte e estampagem. Por outro lado, abre a possibilidade de emprego de novas tecnologias. A quantidade e a diversidade de tecnologias usadas para produzir micropeças e microcomponentes são enormes.

Processos de corte são comumente empregados na indústria para obtenção de peças em diferentes formas, desde geometrias simples até formas complexas. Existem diversos processos de

Manufatura

corte, e entre os mais empregados está o corte em matriz (também conhecido como corte por cisalhamento), corte a *laser*, por eletroerosão a fio e o corte fino, ou *fineblanking*. A escolha do processo normalmente está relacionada à qualidade do corte; peças que requerem alta qualidade necessitam de ferramentas e equipamentos mais sofisticados, o que pode aumentar os custos de produção.

Este trabalho procurou avaliar dois desses processos na fabricação do rotor e do estator de micromotores. A figura 1 mostra um desenho esquemático do rotor e do estator a serem obtidos pelos processos de corte em matriz e por eletroerosão a fio. Buscou-se também introduzir os principais conceitos sobre cada uma das técnicas empregadas na fabricação e abordar os principais efeitos ocorridos durante o processo de corte por meio de uma análise metalográfica de varredura.

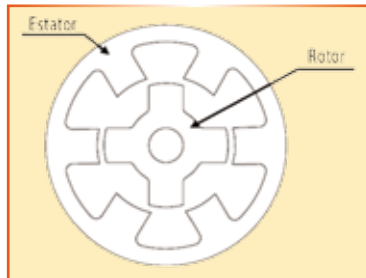


Fig. 1 – Conjunto de rotor e estator

Metodologia

Para a confecção das peças, foram usadas como matéria-prima chapas de aço elétrico de grão não-orientado (GNO), classificadas pela norma ABNT NM71-2000 como 35F 420M, específicas para motores elétricos, produzidas pela empresa ArcelorMittal Inox Brasil.

Para o processo de corte em matriz, foi projetada e construída uma ferramenta que permitisse o desenvolvimento de pesquisas sobre o processo de corte por cisalhamento para chapas finas, em especial chapas emprega-



Fig. 2 – Ferramental de corte empregado no corte do rotor e do estator

das na construção de motores elétricos. A solução encontrada foi projetar uma ferramenta de corte utilizando apenas componentes convencionais de ferramentas para estampagem. O processo de corte fino, mais conhecido por *fineblanking*, poderia ter sido utilizado, porém, além de não ser indicado para o corte de chapas com espessuras muito finas, elevaria os custos da ferramenta.

A figura 2 mostra a foto da ferramenta construída. A ferramenta possui, como estrutura

FC MIRASSOL®
www.fcmirassol.com.br

Máquinas para Corte e Conformação
de Aço e Metais em Bobinas



Imagine! Crie! Inove!
Dar vida a cada idéia de nossos
clientes, faz parte da nossa história.



TECNOLOGIA E INOVAÇÃO COM RESPONSABILIDADE!

- Slitters
- Cortes transversais
- Cortes voadores
- Perfiladeiras
- Ferramentais Cilíndricos
- Endireitadores de chapa
- Formadora de Tubos
- Alimentadores de Prensas
- Automações especiais
- Máquinas especiais

**Tecnologia
Qualidade
Robustez**

**Referencia em inovação
Alta Produtividade**



100% Brasileira



A maior agilidade em cada máquina é
resultado do gerenciamento das
ferramentas Siemens PLM Software entre
todas as etapas CAD/CAM/CAE

Fone: (17) 3242-1690

Fax: (17) 3253-4597

Av. Nilo Pandolphi, 3527 - C.P. 136

Dist. Ind. Newton Flávio Silva Pinto

CEP: 15130-000 - Mirassol - SP

www.fcmirassol.com.br

Contato: vendas@fcmirassol.com.br

Manufatura

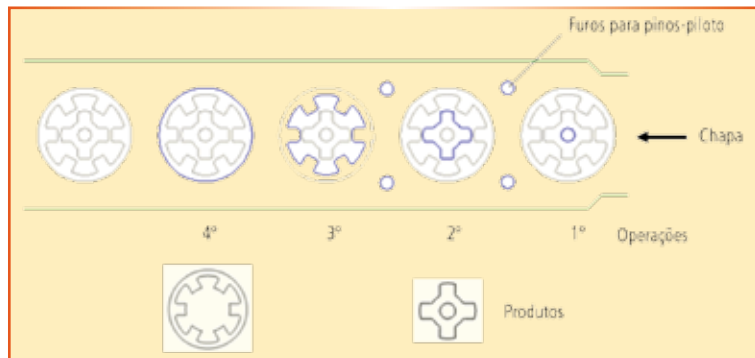


Fig. 3 – Desenho esquemático da ferramenta de corte em matriz

principal, uma base de estampo convencional e duas placas. As placas inferior e superior são guiadas por pinos-guia. O punção é fixo na placa superior e a matriz, na placa inferior.

O processo de corte destina-se à obtenção de formas geométricas a partir de chapas submetidas à ação de pressão exercida por um punção. O corte ocorre da seguinte forma: quando o punção inicia a penetração na chapa, o esforço de compressão converte-se em esforço cisalhante (esforço cortante), provocando a separação brusca de uma porção da chapa.

Para otimizar o processo de corte das chapas, foi projetada e construída uma ferramenta de corte sequencial (figura 3), de forma a obter o rotor e o estator em um único golpe dado pela prensa. A ferramenta é completamente independente da prensa, não necessitando ser fixada por meio de espigas ou grampos fixadores. Sendo assim, a prensa age somente fornecendo a força para o processo de corte, diminuindo a possibilidade de possíveis desalinhamentos entre punção e matriz.

O processo de corte por eletroerosão a fio ocorre da seguinte forma: um fio de latão ionizado – isto é, eletricamente carregado – atravessa a peça submersa em água deionizada, em movimentos constantes, provocando descargas elétricas entre o fio e a peça, as quais cortam o material. Para permitir a passagem do fio, é feito previamente um pequeno orifício no material a ser usinado. O corte a fio é programado por um computador, o que permite o corte de perfis complexos e com exatidão.

Foi usada no processo de corte por eletroerosão a fio uma máquina da marca Fanuc, modelo ROBOCUT α -0iE, fio de latão com diâmetro de 0,25 mm e lubrificação a água. A figura 4 mostra uma imagem do equipamento no qual foi realizado o processo de corte do rotor e do estator.

Resultados e discussões

Corte em matriz

Tendo em vista que o rendimento de um motor elétrico é consequência das perdas mecânicas (rolamentos, acoplamentos, etc.), das perdas no cobre (resistividade dos fios de cobre) e das perdas no ferro (núcleo de lâminas de aço), é de extrema importância que a superfície de corte não apresente fissuras ou rebarbas.

As lâminas manufaturadas pelo processo de corte em matriz (figura 5, pág. 120) foram



Fig. 4 – Corte do rotor e do estator por eletroerosão a fio⁽³⁾

Manufatura

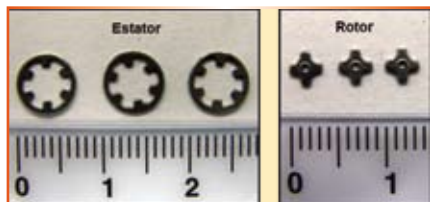


Fig. 5 – Rotor e estator obtidos pelo processo de corte convencional

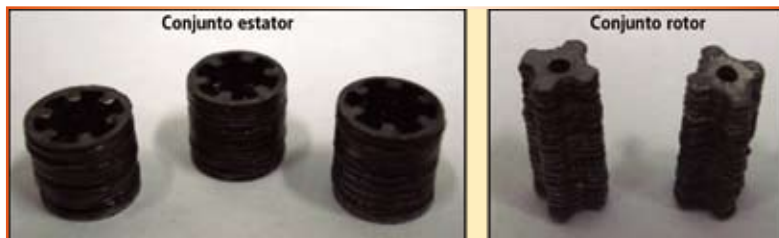


Fig. 6 – Conjunto rotor e estator em formato de pacote

agrupadas, formando os pacotes do estator e rotor, conforme ilustrado na figura 6. Em alguns casos, devido ao encruamento causado na região do corte pelo processo de estampagem, há necessidade de um tratamento térmico para alívio de tensões.

Outro problema recorrente do processo de corte, descrito por Oliveira (2009), é que ele deteriora a estrutura cristalina dos domínios magnéticos do material. Como os grãos (ou domínios magnéticos) têm uma distribuição homogênea ao longo do material, a perda por histerese é homogênea. O processo de corte faz com que essa distribuição deixe de ser homogênea na região

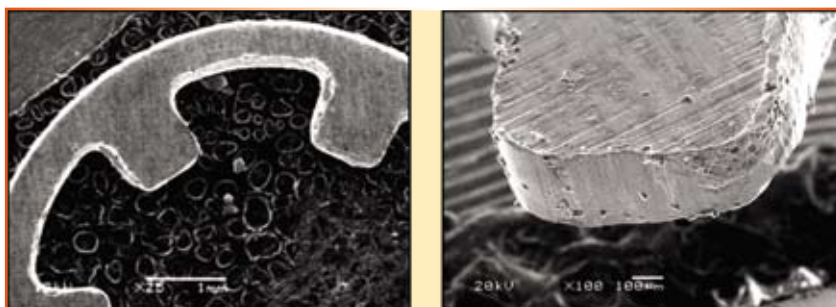
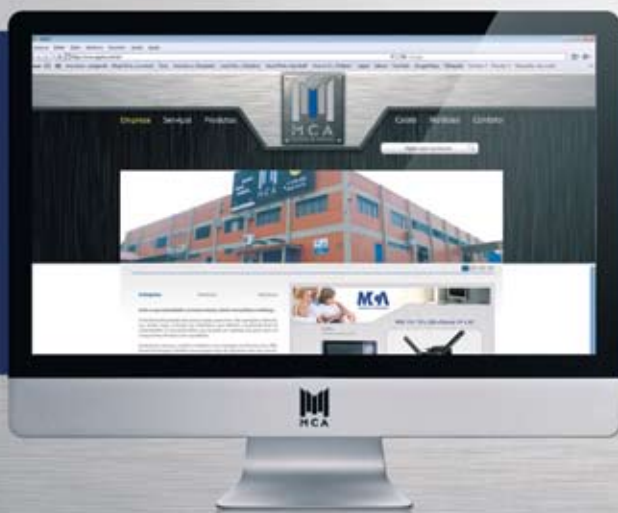


Fig. 7 – Foto microscópica da região de corte do estator obtida pelo processo de corte convencional

próxima ao corte, acarretando o aumento da perda por histerese. As figuras 7 e 8 (pág. 121) mostram, em escala microscópica, como a estrutura do material é alterada pelo processo de corte convencional na região próxima ao corte.

Análises da superfície de corte feitas por microscopia eletrônica de varredura revelaram que o processo produz uma deterioração na estrutura magnética em função do amassamento das bordas e do surgimento de pequenas trincas

A MCA ESTÁ AINDA MAIS CONECTADA ÀS SUAS NECESSIDADES.



Para lhe atender com mais eficiência, a MCA acaba de lançar um novo site. Lá você encontra um canal direto com a empresa. De maneira simples e intuitiva, é possível conhecer tudo sobre nosso serviço, nossos produtos, dicas e novidades.

Acesse mca.ind.br e conheça os diferenciais que formam o padrão de qualidade da MCA.



Fone: (47) 3334-3000
www.mca.ind.br | vendas@mca.ind.br



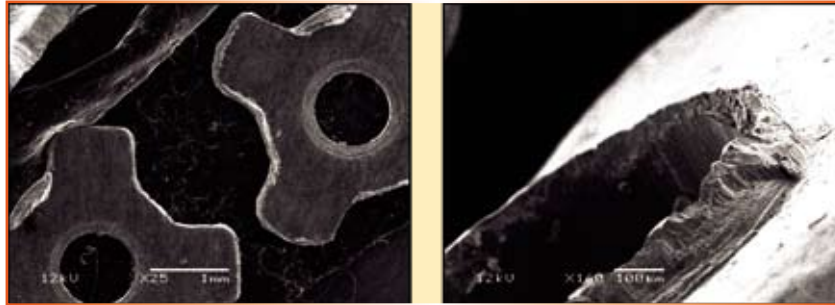


Fig. 8 – Foto microscópica da região de corte do rotor obtida pelo processo de corte convencional

ao longo da superfície de corte, tendo como consequência o aumento das perdas. O fato de ter ocorrido o amassamento e o desprendimento de material na borda da peça durante o processo de corte pode estar relacionado ao material, que tem como uma de suas características ser quebradiço.

O processo de corte convencional também ocasionou o surgimento de rebarbas, principalmente no diâmetro interno do rotor, mostrado na figura 8, dificultando a montagem do conjunto. Outro aspecto que também dificultou a montagem, tanto do rotor quanto do estator, foi o fato de as

peças não apresentarem uma boa planicidade, dificultando a montagem e, principalmente, o alinhamento do conjunto.

Tendo em vista que os resultados obtidos pelo processo de corte convencional não foram satisfatórios, devido à ocorrência de diversos fatores citados anteriormente que dificultaram não só a montagem do conjunto, mas que podem gerar grandes perdas ao motor, optou-se por fazer o corte das peças pelo processo de eletroerosão a fio.

Corte por eletroerosão a fio

O processo de eletroerosão a fio permite cortar materiais com

PRENSAS EXCÊNTRICAS 100% NACIONAIS E 110% DENTRO DAS NORMAS DE SEGURANÇA BRASILEIRAS

BLAUTH DO BRASIL

www.blauthdobrasil.com.br - PRENSAS EXCÊNTRICAS TIPO C, G e H - 48 3461 4800

Solda Pinos e Parafusos Stud Bolt / Steel Deck Grampo «G» - Indutiva



Solda até Ø 12,7

Stud Weld Capacitiva



Solda de
M3 a M8

TgK
soldas

TgK Eletrônica Ltda
19-3808-1942
www.soldastgk.com.br

Manufatura

um fino eletrodo que segue um caminho programado, tendo como característica a ausência de forças de corte e tensões comuns em processos convencionais, o que permite a fabricação de peças complexas, com superfícies sem distorções ou alterações microestruturais.

Uma das vantagens deste processo em relação ao corte convencional é que o conjunto pode ser obtido em uma única etapa, sem a necessidade do agrupamento das chapas. Isso ocorre porque podem-se agrupar várias chapas de modo a obter a altura final do conjunto, realizando o corte em uma única etapa. A grande desvantagem deste processo em relação ao corte convencional é o seu alto custo e baixa produtividade. A figura 9 mostra as peças (rotor e estator) obtidas pelo processo de corte por eletroerosão a fio.

O fato de não haver imperfeições ou alterações microestruturais, mantendo a planicidade das peças durante o corte, facilita a montagem e o alinhamento do conjunto, conforme pode ser visto na figura 10. Outro aspecto que pode ser visto durante o processo de corte por eletroerosão a fio é a ausência do furo interno

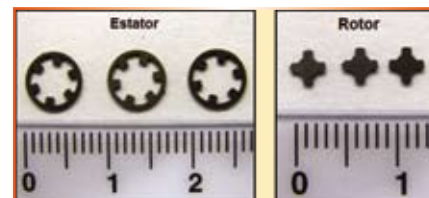


Fig. 9 – Rotor e estator obtidos pelo processo de corte por eletroerosão a fio

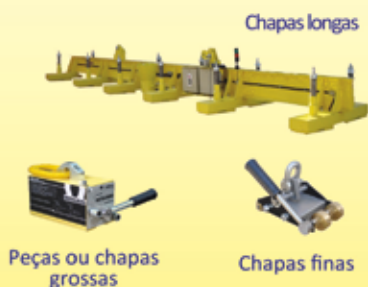
do rotor. Isso ocorreu porque o diâmetro do furo interno é de apenas 1 mm, sendo incapaz de ser realizado com um fio de 0,25 mm de diâmetro.

A eficiência desse processo de corte pode ser vista por uma análise de microscopia eletrônica de varredura, em que estão apresentadas as superfícies de corte do estator (figura 11, pág. 124) e do rotor (figura 12, pág. 124). As imagens mostram, em diferentes ângulos, que o processo de corte por eletroerosão a fio proporcionou superfícies lisas, sem que houvesse imperfeições na superfície de corte, ao contrário do processo de corte convencional.

Um das desvantagens do uso deste processo está relacionada ao custo e ao tempo, visto que o processo convencional pode produzir grandes quantidades de peças em um espaço de tempo menor, além de ter um custo mais baixo por necessitar de equipamentos mais simples

Levantamento Magnético de Chapas Sem patolas — Sem cintas ou cabos Excelente nível de segurança

Desde 1957



- Modelos com ímãs permanentes ou eletropermanentes, que não soltam a carga com falta de energia
- Alto coeficiente de segurança
- Equipamento fabricado no Brasil



Metalmag Produtos
Magnéticos Ltda.
Vendas: (11) 5523-8400
vendas@metalmag.com.br
www.metalmag.com.br



Fig. 10 – Conjunto rotor e estator obtido pelo processo de corte por eletroerosão a fio

Manufatura

que os de corte por eletroerosão a fio. Por outro lado, o processo proporciona peças lisas, isentas de rebarbas e de trincas ao longo da superfície, tornando-se viável quando se busca produzir pequenas quantidades de peças.

Conclusões

O presente trabalho procurou mostrar, de uma forma geral, dois diferentes processos de corte usados na fabricação de micropeças, as limitações de cada processo, os efeitos ocorridos durante a fabricação e as vantagens e desvantagens de cada um. A análise feita por microscópio eletrônico de varredura mostrou a região de corte após cada pro-

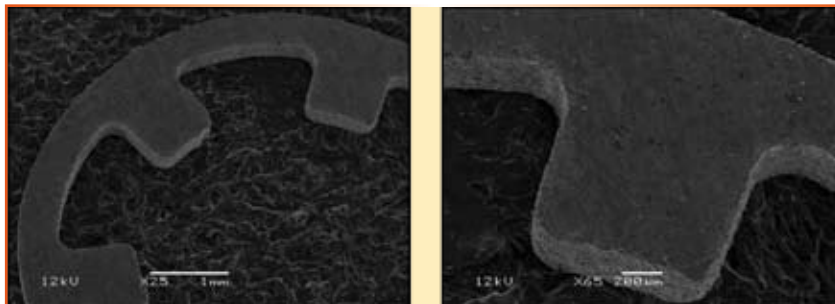


Fig. 11 – Foto microscópica da região de corte do estator obtida pelo processo de corte por eletroerosão a fio

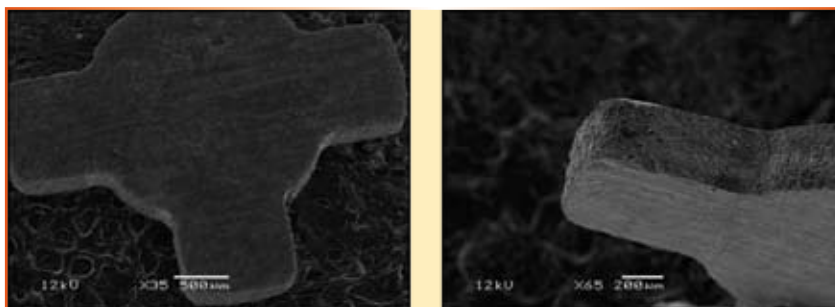


Fig. 12 – Foto microscópica da região de corte do rotor obtida pelo processo de corte por eletroerosão a fio

POLYSOUDE
THE ART OF WELDING

TECNOLOGIA DE SOLDAGEM ORBITAL EXTREMAMENTE CONFIÁVEL

Descubra a mais abrangente linha de cabeçotes e fontes para solda orbital de tubos e tubos x placa. Soluções de alta tecnologia testadas em campo, fáceis de manusear e com qualidade e produtividade excepcionais.

50 50 anos de excelência provendo conhecimento e tecnologias inovadoras em soldagem.

Uma organização globalizada fornece um suporte próximo a você.

POLYSOUDE
União. Qualidade.

Tel: +55 11 2533 8884 f.solino@polysoude.com

Cel: + 55 11 8451 0795 www.polysoude.com

USITUBOS
ISO 9001:2008

As melhores soluções em conformação de metais

CURVAS E DOBRAS
CALANDRAGEM
CORTE
USINAGEM
SOLDAGEM

Representante no Brasil de:

YLM 穎霖機械工業股份有限公司
YING LIN Machine Industrial Co., Ltd

Máquinas para:

- Curvar,
- Cortar e
- Conformar Tubos.

CNC-25MS-LR-12A

CNC-150MS-8A

Fone: (19) 3478-6585 / 3478-6522
ylm@usitubos.com.br / www.usitubos.com.br

cesso, algo que seria muito difícil de ver a olho nu, por se tratarem de micropeças com espessuras de chapas muito finas.

Para casos em que a peça não exige aplicações precisas, o processo de corte em matriz pode ser utilizado sem grandes problemas; não é o caso deste trabalho, em que estas peças necessitam que a região de corte esteja lisa e isenta de trincas, caso contrário ocorreriam grandes perdas no micromotor. Sendo assim, para o presente estudo, o processo de corte por eletroerosão a fio é o mais indicado, por proporcionar características que não foi possível obter com o processo de corte em matriz.

Para peças que não exigem grande precisão, o processo de corte em matriz é o mais indica-

do, por ter um menor custo, equipamentos mais simples e maior produtividade. Porém, em casos como o deste trabalho, em que a influência do corte está relacionada às perdas do micromotor, e que foi realizado em um cenário de pesquisa, o processo de corte por eletroerosão a fio, apesar do alto custo do equipamento, acaba se tornando mais viável.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento das bolsas, à Escola de Engenharia da UFRGS e ao Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM), pelo uso de sua estrutura, e à empresa

ArcelorMittal Inox Brasil, que colaborou disponibilizando o material para o presente estudo.

Referências

- 1) Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NM71-2000 – *Produtos planos de aço para uso elétrico, de grão não orientado totalmente processados*.
- 2) CALLISTER Jr., W. D. *Ciência e Engenharia de Materiais: uma Introdução*. 5ª ed. Rio de Janeiro, LTC, 2002.
- 3) Fanuc. Catálogo de produtos Fanuc Robocut α 0i/E/ α 1i/E, 2010.
- 4) GEIGER, M.; KLEINER, M.; ECKSTEIN, R.; TIESLER, N.; ENGEL, U. Microforming. *Ann. CIRP*, 50/2/2001, p. 445-462.
- 5) OLIVEIRA, S. A. G. Simulação Numérica de Processos de Conformação Mecânica. In: *13º POSMEC – Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica*. Uberlândia, 2003.
- 6) SOUZA, J. H. C. *Estudo do processo de corte de chapas por cisalhamento*. Dissertação para obtenção do título de mestre em engenharia. PPGEM – UFRGS, Porto Alegre, 2001.

Vendemos máquinas e serviços para toda a indústria de tubos, perfis e estamparias.

MAQUINA DE CORTE EMENDA

ACUMULADOR HORIZONTAL

Kent CORPORATION

FUTUROGROUP
TUBE & PIPE MILL SPECIALIZED ENGINEERING

Para obter mais informações acesse www.futurogroup.com.br <<http://www.futurogroup.com.br>> - Fone: (47) 3348-2076 www.kenttesgo.com <<http://www.kenttesgo.com>> - ou visitar-nos em Balneário Camboriú – Santa Catarina, Rua Manoel Borba Gato, nº12 – Bairro Nova Esperança. – E-mail: sales@futurogroup.com.br