

UMA ANÁLISE SOBRE A INTEGRAÇÃO DE ROBÔS MÓVEIS NA AUTOMAÇÃO DE MANUFATURA INDUSTRIAL, E O SEU PAPEL EM SISTEMAS DE MANUFATURA FLEXÍVEL

Landecir Alves de Albuquerque, Landmailbox@gmail.com^{1,2}
Alberto José Álvares, alvares@alvarestech.com^{1,2}

¹Grupo de Automação e Controle (GRACO), Departamento de Engenharia Mecânica e Mecatrônica (ENM), Faculdade de Tecnologia (FT), Universidade de Brasília (UnB), 70910-900, Brasil,

²Grupo de Inovação em Automação Industrial (GIAI), Departamento de Engenharia Mecânica e Mecatrônica (ENM), Faculdade de Tecnologia (FT), Universidade de Brasília (UnB), 70910-900, Brasil,

Resumo: *O que uma empresa sempre busca é ser competitiva. Para atender esse objetivo que surgiram filosofias de gestão industrial como a manufatura enxuta e flexível. A flexibilidade é uma resposta a desafios impostos principalmente pelas necessidades de mercado a um empreendimento. Inerentemente, ambientes de manufatura são altamente dinâmicos, tão dinâmicos quanto o mercado para os produtos que fabrica. Robôs móveis são elementos-chave nesse contexto, e por isso estão cada vez mais presentes no ambiente fabril. Para que um robô móvel seja realmente funcional e possa efetuar tarefas como navegação e manipulação, por exemplo, ele precisa resolver o seu primeiro e fundamental problema: conhecer a sua geometria de posicionamento. Ele precisa ter consciência de onde está para poder atuar. Essa é uma das razões de se procurar sensores cada vez mais sofisticados, softwares inteligentes e hardware estado-da-arte. A habilidade de apenas desviar de obstáculos já está se tornando insuficiente para diversas novas aplicações da robótica móvel, habilidades mais complexas são procuradas. Com essa motivação que este trabalho apresenta uma análise sobre a integração de robôs móveis na automação de manufatura industrial, e o seu papel em sistemas de manufatura flexível.*

Palavras-chave: *automação de manufatura industrial, manufatura flexível, robôs móveis*

1. INTRODUÇÃO

Um robô móvel pode ser considerado uma ferramenta de trabalho sofisticada para a automação de manufatura. Grande parte dos robôs móveis em atividade no mundo atualmente trabalham nesse tipo de ambiente. Plantas de manufatura automotiva são o exemplo mais claro de habitat onde pode se ver a real funcionalidade e a utilidade prática de um robô móvel industrial.

Robôs móveis estão em pleno curso de amadurecimento tecnológico. O seu crescimento em números na indústria de manufatura se deve a um conjunto de fatores, dentre eles cita-se: o aumento do poder de processamento de hardware computacional, o aprimoramento e o barateamento dos componentes eletrônicos em geral, como os sensores utilizados para navegação robótica, e a evolução de softwares de inteligência artificial.

Com o seu maior uso, a integração de robôs móveis em sistemas de manufatura flexível é um tema que vem ganhando cada vez mais importância, devido principalmente a sua complexidade de implantação, tendo em vista que o ambiente de manufatura é inerentemente dinâmico (Hugh, 2001 e Kupec, 1989).

Para muitas pessoas das indústrias manufatureiras a flexibilidade pode parecer algo abstrato e filosófico demais para o chão-de-fábrica, mas os efeitos podem ser percebidos mais precisamente a longo prazo, no departamento financeiro da empresa.

O conceito moderno de manufatura industrial flexível compreende a adaptação a mudanças constantes nos requisitos de produção, mudanças estas que são oriundas em grande parte de exigências de mercado e de metas tais como redução de custos. A busca por qualidade nos produtos, agilidade na produção e entrega, e a manufatura enxuta visando a redução de desperdícios são outros aspectos que a robotização pode ajudar a atingir.

Quando implementando a automação utilizando robótica móvel uma questão bastante relativa diz respeito à autonomia atribuída ao robô. Apesar dos grandes avanços da área, um robô móvel totalmente autônomo, principalmente de proposta genérica para ambiente de manufatura, ainda é muito mais um sonho de consumo do que uma realidade a curto prazo. Já há uma gama de robôs móveis disponíveis no mercado, e a escolha do veículo correto, compreendendo a suíte de sensores e softwares adequados vai bem além do nível de processo no chão-de-fábrica. Antes de tudo, o nível de autonomia atribuído ao robô precisa torná-lo realmente funcional para desempenhar o seu trabalho específico no

transporte de materiais, e ao mesmo tempo deveria ser facilitada a capacidade de adaptação do robô para atingir requisitos de produção, como a necessidades de reconfiguração de rotas ou layouts de espaços de trabalho (Qiu et al, 2002 e Gage, 1995).

Com essas preocupações expostas que este trabalho apresenta uma análise com respeito à aplicação e a integração de robôs móveis em ambientes de manufatura flexível e enxuta. Expõem as limitações e fala do seu real propósito dos robôs móveis nesse ambiente industrial.

2. MANUFATURA FLEXÍVEL E ESTRATÉGIA DE NEGÓCIOS

Há uma ligação muito forte entre a estratégia de negócios e a flexibilidade em manufatura.

É verdade que a flexibilidade pode apresentar diversas faces em manufatura, desde a flexibilidade da maquinaria, considerada básica, até a flexibilidade de sistemas e de valor agregado (Nampring and Punglae, 2005). Mas a palavra que resume flexibilidade é adaptação e, via de regra, robôs não foram projetados a para serem adaptativos (Das, 2001).

Uma característica fundamental dos ambientes de manufatura modernos é serem ambientes cada vez mais dinâmicos, em contrapartida a características de décadas passadas. Esse dinamismo é tão grande quanto o mercado para os produtos que uma empresa fabrica. A manufatura flexível se insere nesse contexto como uma forma de domar as constantes e cada vez mais rápidas mudanças ambientais. Flexibilidade é a capacidade de mudar o próprio comportamento de modo a se adaptar a novos desafios de variadas naturezas. Esses desafios são proporcionados principalmente pelas necessidades de mercado, como a busca constante por inovação, qualidade nos produtos e competitividade nos preços. Portanto, para uma empresa continuar competitiva ela precisa ser ágil e adaptativa. Não ser maleável às mudanças de dentro e fora da ambiente fabril pode representar uma séria ameaça para a saúde e para a própria subsistência de uma empresa (Das, 2001; Fisher, 1994; Nampring and Punglae, 2005).

Desse modo percebe-se que a flexibilidade deve ser antes de tudo uma filosofia de trabalho, compreendendo desde o nível mais alto da gestão de negócios e planejamento estratégico de uma empresa, até o nível mais elementar e operacional do hardware e da maquinaria presente no chão-de-fabrica (Nampring and Punglae, 2005 e Das, 2001). Portanto, não são apenas máquinas que estão envolvidas nesse conceito, é um problema conjuntural envolvendo homens e equipamentos dentro de uma filosofia de equipe e de visão para os rumos do negócio.

3. ROBÔS MOVEIS X ROBÔS ESTACIONÁRIOS

Robôs móveis eram muito pouco utilizados no início da automação industrial utilizando robôs, na década de 60, em razão principalmente dos custos de aquisição e manutenção, e da deficiência de hardware e software, pouco desenvolvidos à época, para o seu emprego funcional em ambiente de manufatura. Robôs fixos ou manipuladores robóticos sempre dominaram a cena porque eram mais efetivos em questão de desempenho e custos para resolução de problemas em ambiente industrial.

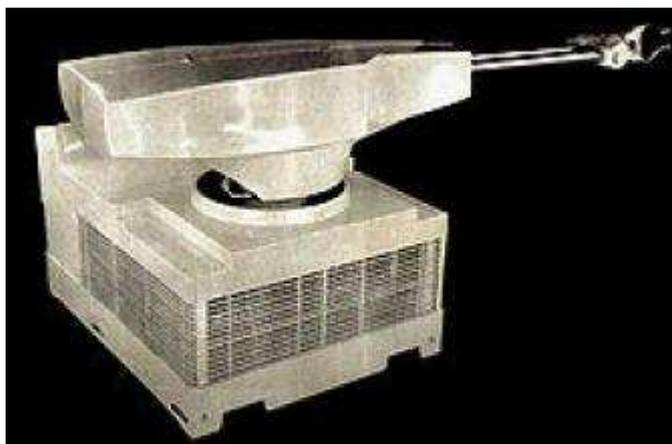


Figura 1. UNIMATE: primeiro robô industrial.

A grande diferença entre robôs móveis e estacionários é a capacidade de locomoção. Enquanto um robô estacionário fica fixo dentro de uma célula de trabalho executando tarefas como manipulação, um robô móvel efetua transporte de materiais de fora pra dentro, e vice-versa, de uma célula de trabalho de manufatura.

A combinação de robôs móveis com robôs estacionários deu origem às plataformas móveis, que são robôs móveis com a capacidade de receber um manipulador robótico embarcado. O robô móvel didático Nomad XR4000 (Nomad Technologies) foi projetado para receber um manipulador robótico PUMA embarcado. Essas plataformas robóticas ainda são pouco utilizadas em ambiente fabril, mas já são bastante utilizados em outras aplicações como robótica de resgate ou robôs para desarme de bombas, através de teleoperação.



Figura 2. Robô móvel didático Nomad XR4000 – GRACO/UnB.

4. O CONCEITO DE AUTONOMIA PARA UM ROBÔ MÓVEL

Comportar-se de modo verdadeiramente autônomo é um grande desafio até mesmo para ser desempenhado por seres humanos, vide o problema de se estar perdido em um lugar desconhecido e sem mapa (Russel and Norving, 1995). Por isso, a navegação autônoma é um dos maiores desafios da robótica e está associada diretamente com desenvolvimento da inteligência de máquinas.

Tarefas completamente triviais para serem desempenhadas por um ser humano, como transferir um objeto de um lugar para o outro, são extremamente complexas para ser desempenhada por robôs manipuladores do tipo *pick and place* em ambiente fabril. De modo semelhante, dotar robôs móveis com a capacidade da navegação autônoma é uma meta das mais complexas, que já foi vista até mesmo como um objetivo visionário nos primórdios do desenvolvimento dos robôs móveis industriais.

Uma máquina precisa conhecer e aprender o seu ambiente para poder ser autônoma.

O maior problema para um autômato navegar de forma autônoma é o fato do mundo real ser extremamente complexo e aleatório. E a melhor forma de tratar esse problema é utilizando inteligência. Quanto mais realístico e complexo o ambiente de trabalho do robô, mais cognição ou inteligência artificial é necessária para se buscar autonomia, pois à medida que a mobilidade evolui para uma capacidade cada vez mais autônoma mais conhecimento do ambiente é exigido pelo robô. A inteligência, por sua vez, é um processo de aprendizagem, ou seja, ela não surge subitamente, ela precisa ser construída, o que leva tempo, para isso que surgiram áreas como a robótica evolucionária.

Além da maior exigência da inteligência artificial, que ainda não está totalmente amadurecida para tornar robôs móveis altamente autônomos e ao mesmo tempo altamente funcionais para a resolução de um problema práticos de natureza mais geral presentes na indústria, a mobilidade de robôs móveis também é muito dependente de sensores sofisticados. Tanto sensores proprioceptivos, como sensores inerciais para odometria, quanto sensores para interação com o ambiente, como câmeras de vídeo, sensores de infravermelho, sonares e sensores baseados em laser. Essa também é uma das razões do maior sucesso na utilização de manipuladores robóticos fixos em ambiente industrial comparados com robôs móveis.

Concluindo, é difícil classificar um robô como realmente autônomo, sendo um aspecto relativo. A locomoção pode ser caracterizada por vários níveis de autonomia, variando de teleoperado, com a guiagem de navegação sendo feita por humanos e transferida remotamente para o robô, a semi-autônomo e totalmente autônomo. Um robô totalmente autônomo em um sentido generalista, considerando um ambiente complexo e altamente dinâmico é neste momento uma meta ainda não atingida, mas um robô autônomo em um sentido específico, *ad hoc*, para certas aplicações já é uma realidade, e a prova disso é o leque de opções de robôs móveis industriais já disponíveis no mercado.

5. INTEGRAÇÃO DE ROBÔS MOVEIS EM SISTEMAS DE MANUFATURA

A complexidade para dividir e organizar um sistema de manufatura dentro de células de trabalho é elevada. Integrar todo o sistema com frotas de robôs móveis é um desafio maior ainda.

Embora a tarefa que um robô móvel executa dentro do sistema pareça simples, para que o conjunto funcione sem impasses (*deadlocks*), com efetividade, segurança e flexibilidade não é tarefa trivial. A integração de processos no nível mais elementar de uma planta industrial pode apresentar custos e complexidades elevados, principalmente no tocante a softwares de automação (Newman et al, 2000).

Como já tratado, o conceito de autonomia de um robô esta altamente associado como ambiente em que ele vai operar. Os robôs na indústria obedecem a requisitos de execução de trabalhos simples e repetitivos, para execução principalmente do transporte de materiais, um exemplo é o transporte de contêineres em portos. Portanto, o caminho para um robô móvel trafegar no chão-de-fábrica deve ser altamente estruturado. Robôs que atuam em ambientes abertos, complexos e mais realísticos, como robôs de resgate, por exemplo, exigem pacotes de sensores e softwares mais elaborados e caros para poder efetuar tarefas puramente cognitivas como o planejamento de caminho, em comparação com robôs para andarem plantas de manufatura.

Como o ambiente de manufatura é estruturado, a melhor solução à primeira vista para se utilizar robôs móveis é colocá-los sobre trilhos. No entanto, essa é uma estratégia que pode impedir a reconfiguração de rotas e comprometer a flexibilidade de um sistema de manufatura em certos tipos de aplicações.



Figura 3. Célula de manufatura composta por torno CNC (comando numérico computadorizado) e um robô manipulador montado sobre trilhos - GRACO/UnB.

Os robôs móveis comumente utilizados em automação de manufatura são do tipo AGV (Automated guided vehicle) ou UGV (Unmanned ground vehicle). Ambos são veículos não tripulados por humanos, mas a diferença fundamental entre eles é o controle, que no primeiro é automático e embarcado, o segundo pode ser teleoperado (Qiu et al, 2002; Fisher, 1994 e Gage, 1995).



Figura 4. AGV para transporte de materiais fabricado pela empresa norte americana Oregon.

Miljković e co-autores esclarecem que a escolha do robô móvel adequado está relacionado com um problema maior que é a manipulação de materiais, este por sua vez compreende o movimento, armazenamento, proteção e controle de materiais através da manufatura (Miljković et al, 2008). Das é a favor de uma gerência de compras para tomar decisões estratégicas na empresa (Das, 1991). No entanto, para o empreendedor, na prática, muito mais importante do que o robô dispor de sensores caros, sofisticados e dispor de softwares inteligentes e hardware estado da arte, é ele ser realmente funcional e resolver um problema. Portanto, é comum ver que o motivo que leva uma empresa a adotar soluções baseadas em robôs móveis ser quase sempre voltada para a resolução de um problema específico de automação, e não como resultado de um planejamento estratégico visando flexibilidade.

Como já destacado, a principal vantagem, ou o motivo de ser dos robôs móveis, é a capacidade de movimento. O conceito de movimento é importantíssimo visto que ele compreende a posição, velocidade e aceleração do robô, aspectos estes que determinam a habilidade ou capacidade de navegar de forma autônoma. O primeiro passo para um robô móvel atingir autonomia é resolver o seu problema de posicionamento. É imprescindível que ele esteja devidamente posicionado e localizado no ambiente para poder trabalhar. Um robô precisa ter consciência de onde está e da sua geometria de posicionamento para poder efetuar tarefas almeçadas como manipulação e navegação. Essa etapa começa a ser resolvida pela percepção do ambiente pelo robô utilizando sensores. Em manufatura os mais utilizados são sensores para efetuar rastreamento (*tracking*) de trajetórias determinadas por marcadores artificiais (*landmarks*) fixados no solo, tais como retas ou linhas. Os sensores mais utilizados para esse propósito são sensores infravermelho

ou câmeras de vídeo (Kupec, 1989; Hu and Gu, 1999 e Miljković et al, 2008). Caso um mapa da trajetória seja utilizado, existente a priori ou construído a partir de dados de sensores, a localização ou estimação de pose em relação a esse mapa determina a geometria de posicionamento do robô.

Ressalta-se que um robô móvel descalibrado e mal posicionado pode ter o efeito totalmente contrário do desejado, representando até mesmo um sério risco de segurança no seu espaço de trabalho. Portanto, faz-se necessário que ele possa resolver de modo eficiente a sua estimação de estados de posição, e também de movimento, para poder efetuar uma tarefa que parece simples para humanos mas que é altamente complexa para ser executada por um robô móvel, como a tarefa de levar um motor de caminhão ou uma bobina de papel em linha reta por uma distância de 20 metros.

Uma habilidade bastante pesquisada é a capacidade do robô móvel poder se desviar de obstáculos. Considerando essa capacidade de um modo puramente reativo, ou seja, baseada em reação instintiva a sensores, ela já uma é capacidade altamente complexa para muitas situações e já torna um robô móvel funcional para certas aplicações. Mas já está se tornando insuficiente para diversas novas aplicações visadas para os robôs móveis. São procuradas capacidades de desvio de obstáculos combinada com a capacidade de cognição para planejar rotas. Habilidades como a navegação e percepção sensorial 3D são áreas quentes de pesquisa. Em suma, busca-se dotar robôs com hardware e software mais sofisticados para que ele possa operar em ambientes mais complexos, principalmente ambientes abertos externos e não estruturados, incluindo ambientes industriais; sensores baseados em laser, conhecidos como *sicks* apresentam os melhores resultados para essa proposta na atualidade.

O ambiente de manufatura é caracterizado geralmente por ser um ambiente interno, onde é possível introduzir muitas restrições para permitir o trabalho de um robô móvel, tornando esse ambiente bem estruturado para movimentação do robô. Entretanto, muitas restrições também podem tornar proibitivas e amarrar a maior vantagem do robô móvel, anulando o seu ponto mais forte, que é capacidade de mobilidade. Isso evidencia o fato dos robôs móveis não conseguirem ainda serem adaptativos o suficiente para o que se deseja no atual estado de desenvolvimento tecnológico da robótica móvel. Portanto, encontrar o equilíbrio entre os custos da robotização e a funcionalidade desejada é um tema que exige atenção.

6. CONCLUSÕES

Um dos ambientes onde os robôs móveis mais estão presentes na atualidade é o ambiente da manufatura industrial.

No passado, manipuladores robóticos dominavam a cena no ambiente da automação de manufatura. Na atualidade a robótica móvel também está se tornando um elemento essencial de automação, principalmente num contexto de manufatura flexível.

Robôs móveis adaptáveis e totalmente autônomos para quaisquer circunstâncias ainda são uma meta distante, mas robôs móveis *ad hoc*, funcionais para aplicações específicas, já são uma realidade.

A integração de robôs móveis é um problema conjuntural que busca antes de tudo atribuir flexibilidade ao robô, para que ele possa adquirir capacidade de adaptação em harmonia com os negócios da empresa.

Incluir os robôs móveis no planejamento estratégico da empresa visando os mais variados tipos de flexibilidade deveria ser uma preocupação de gestão de negócios, visto que os custos de integração de sistemas podem ser até mesmo proibitivos dependendo da complexidade do ambiente de produção; e não robotizar, às vezes, pode não ser uma opção, pois pode colocar em risco a competitividade da empresa.

7. REFERÊNCIAS

- Das, A., 2001, "Towards Theory Building in Manufacturing Flexibility", International Journal of Production Research, Vol. 39, No. 18, pp. 4153-4177.
- Fisher, K., 1994, "The Design of an Intelligent Manufacturing System – A multi-agent System approach", German Research Center for AI (DFKI).
- Gage, D. W., 1995, "UGV History 101: A Brief History of Unmanned Ground Vehicle (UGV) Development Efforts", Unmanned Systems, Vol. 13, No. 3.
- Hu, H. and Gu, D., 1999, "Landmark-based Navigation of Mobile Robots in Manufacturing", Proceedings of 7th IEEE International Conference on Emerging Technology and Factory Automation, Barcelona, Spain.
- Hugh, J., 2001, "Integration and Automation of Manufacturing Systems".
- Kupec, T., 1989, "Integration of Autonomous Mobile Robots in Flexible Manufacturing Systems", Proceedings of the 2nd International Conference on Intelligent Autonomous Systems, pp. 122-133.
- Miljković, Z., Vuković, N. and Babić, B., 2008, "Mobile Robot Localization in a Manufacturing Environment", Proceedings of the 3rd International Conference on Manufacturing Engineering (ICMEN 2008) and EUREKA Brokerage Event, pp. 485-494.
- Nampring, N. and Punglae, S., 2005, "The Future of Industrial Automation Flexible Manufacturing Systems (FMS)", Report to Dr. Montri Damrongwongsiri, TIM 690 Seminar in Technology and Innovation Management, Graduate school of Management and Innovation King Mongkut's, University of Technology Thonburi.
- Newman, W., Podgurski, A., Quinn, R., Merat, F., Branicky, M., Barendy, N., Causey, G., Haaser, E., Kim, Y., Swaminathan J. and Velasco, V., 2000, "Design Lessons for Building Agile Manufacturing Systems", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 16, No. 3, pp. 228-238.

Qiu, L., Hsu, W-J., Huang, S-Y. and Wang H., 2002, "Scheduling and routing algorithms for AGVs: a survey", International Journal of Production Research, Volume 40, Number 3, pp. 745-760(16).
Russel, S. and Norving, P., 1995, "Artificial Intelligence: A Modern Approach", Prentice-Hall, New Jersey.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.

AN ANALYSIS OF THE INTEGRATION OF MOBILE ROBOTS IN THE INDUSTRIAL MANUFACTURING AUTOMATION, AND ITS ROLE IN FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS

Landecir Alves de Albuquerque, Landmailbox@gmail.com^{1,2}
Alberto José Álvares, alvares@alvarestech.com^{1,2}

¹Automation and Control Group (GRACO), Department of Mechanical and Mechatronics Engineering (ENM), Faculty of Technology (FT), University of Brasilia (UnB), 70910-900, Brazil,

²Innovation in Industrial Automation Group (GIAI), Department of Mechanical and Mechatronics Engineering (ENM), Faculty of Technology (FT), University of Brasilia (UnB), 70910-900, Brazil,

***Abstract.** What is a company always seeks is to be competitive. To meet this objective that emerged industrial management philosophies such as lean manufacturing and flexible. Flexibility is a response to challenges posed mainly by market needs a new development. Inherently, manufacturing environments are highly dynamic, as dynamic as the market for the products it manufactures. Mobile robots are key elements in this context, and therefore are increasingly present in the manufacturing environment. For a mobile robot is actually functional and can perform tasks such as navigation and manipulation, for example, he needs to solve its first and fundamental problem: knowing the geometry of positioning. He needs to be aware of where he is to be able to act. This is one reason to seek increasingly sophisticated sensors, intelligent software and hardware state of the art. The ability to avoid obstacles only now is becoming insufficient for many new applications of mobile robotics, more complex skills are sought. With this motivation, this work presents an analysis of the integration of mobile robots in the industrial manufacturing automation, and its role in flexible manufacturing systems.*

***Keywords:** industrial manufacturing automation, flexible manufacturing, mobile robots*